



Consolidation des connaissances sur la contamination de la faune halieutique par la chlordécone autour de la Martinique et de la Guadeloupe (Projet « CHLOHAL »)

Rapport final



Octobre 2015,

C. Dromard, J.P. Allenou, Y. Bouchon-Navaro, S. Lemoine, E. Thouard, L. Reynal, J.A. Bertrand, et C. Bouchon

Principaux résultats du projet CHLOHAL et perspectives

Le projet CHLOHAL comportait deux études. La première portait sur la cartographie de la contamination par la chlordécone des espèces halieutiques autour des îles de la Martinique et de la Guadeloupe ; la seconde avait pour but d'analyser le cheminement de cette contamination dans les réseaux trophiques des écosystèmes côtiers (mangroves, herbiers de Phanérogames marines et récifs coralliens), dans le but d'élucider les mécanismes de transfert de cette pollution vers le milieu marin.

L'étude cartographique de la contamination des espèces halieutiques dans les deux îles montre que l'image globale obtenue à la suite du projet Chlohal, en comparaison avec les études précédentes (2008 à 2013), confirme la stabilité du contour des zones polluées. Toutefois, il conviendrait de suivre l'évolution spatio-temporelle de cette contamination aux limites des zones d'interdiction, grâce à des espèces sentinelles comme le poisson-lion (*Pterois volitans*) dans les zones récifales ou l'huître de palétuvier (*Crassostrea rizophorae*) en mangrove. Parmi les espèces à risque, qui ont été interdites à la pêche dans les zones de restriction partielle en Guadeloupe, l'oursin blanc (*Triploneustes ventricosus*) devrait être ajouté à la liste, du fait du niveau de contamination élevé de ses gonades (c'est-à-dire la partie consommée de l'animal).

L'étude de la dynamique de la contamination suggère que la voie d'entrée principale de la chlordécone dans les réseaux trophiques marins se fait par bain des organismes dans l'eau contaminée par cette molécule. Les arguments principaux en faveur de cette hypothèse sont : 1) il existe un gradient décroissant du niveau de contamination des organismes depuis la côte (source de la pollution) vers le large ; 2) des poissons et des crustacés mis dans des bacs contenant de l'eau contaminée par de la chlordécone se contaminent rapidement (ce phénomène a été à l'origine de la fermeture de fermes à « ouassous » en Martinique et en Guadeloupe bien que ces animaux aient été nourris avec des granulés) ; 3) la bioamplification de la chlordécone le long de la chaîne alimentaire est modérée, ce qui ne serait probablement pas le cas si la voie de contamination principale était d'ordre alimentaire.

Toutefois, bien que modeste ce phénomène de bioamplification existe et une élévation de la contamination des organismes en fonction de leur niveau dans la chaîne alimentaire a été observée. D'une façon résumée, celle-ci augmente depuis les sources primaires de carbone (bactéries du biofilm, plantes...) vers les carnivores mangeurs d'animaux invertébrés, puis vers les poissons piscivores situés au sommet du réseau trophique.

L'étude montre l'existence d'importantes variations intra et interspécifiques des concentrations en chlordécone mesurées. Afin de mieux comprendre ce phénomène, des analyses isotopiques du carbone et de l'azote apporteraient des informations cruciales sur le fonctionnement des chaînes alimentaires, en facilitant l'identification des sources de carbone. Les analyses isotopiques sont des outils complémentaires aux analyses écotoxicologiques pour tracer le cheminement des polluants dans les réseaux trophiques.

Compte tenu de leur niveau de contamination relativement élevé, il semble que les « matières en suspension » dans l'eau (MES) jouent un rôle important dans l'introduction de la molécule par la voie alimentaire dans les trois écosystèmes. Ces MES sont constituées de matière organique particulaire morte associée à des bactéries, de phytoplancton (plancton végétal) et de zooplancton (plancton animal). Prise en compte d'une façon globale dans le projet Chlohal, cette source de carbone mériterait une étude plus détaillée, en fonction de ses divers constituants, pour mieux appréhender son rôle dans la contamination des organismes par voie trophique. De même, l'étude de la cinétique de contamination et de décontamination des organismes est une perspective particulièrement intéressante dans la compréhension de ce phénomène, ainsi que dans la perspective de décontaminer des espèces à haute valeur commerciale (langoustes...) en les faisant stabuler en eau propre.

La chlordécone dissoute dans l'eau semblant être une voie de contamination majeure des organismes marins, il serait important de suivre la dynamique de ce phénomène dans les eaux estuariennes et marines côtières. Techniquement, une telle étude passe par la mise en place d'« d'échantillonneurs passifs » dans les écosystèmes marins côtiers, dispositifs permettant d'intégrer la cinétique de cette contamination de l'eau.

Enfin, aucune étude n'a été menée à ce jour pour étudier les impacts de la chlordécone sur la biologie des organismes marins (reproduction, recrutement larvaire, croissance...), afin d'évaluer les conséquences à long terme de cette pollution sur le fonctionnement général des écosystèmes marins côtiers.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 4 |
| Chapitre I : Matériel et méthodes | 7 |
| I.1. Localisation de l'étude | 7 |
| I.1.1. Zones d'étude utilisées pour la partie « cartographie » | |
| I.1.2. Sites choisis pour l'étude des réseaux trophiques | |
| I.2. Plan d'échantillonnage | 9 |
| I.2.1. Données historiques | |
| I.2.2. Identification des insuffisances en terme de cartographie | |
| I.2.3. Nombre d'échantillons par espèce et par zone | |
| I.2.4. Identification des insuffisances pour l'étude des réseaux trophiques | |
| I.3. Campagnes de prélèvements en mer | 13 |
| I.4. Préparation des échantillons | 13 |
| I.5. Analyses des concentrations en chlordécone | 14 |
| I.6. Analyses statistiques | 14 |
| Chapitre II : Cartographie de la contamination halieutique | 16 |
| II.1. Bilan des campagnes d'échantillonnage | 16 |
| II.1.1. Bilan des données « historiques » | |
| II.1.2. Bilan de l'échantillonnage Chlohal | |
| II.2. Traitement des données | 18 |
| II.2.1. Présentation globale des résultats | |
| • Représentation globale de la contamination en Guadeloupe | |
| • Représentation globale de la contamination en Martinique | |
| II.2.2. Présentation des résultats par groupes trophiques | |
| II.2.3. Analyse de la contamination par espèce | |
| • Espèces contaminées : concentrations moyennes supérieures à 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ | |
| • Espèces moyennement contaminées : concentrations moyennes entre 10 et 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ | |
| • Espèces peu contaminées : concentrations moyennes inférieures à 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ | |
| II.3. Zoom sur les résultats de Chlohal et la réglementation de la pêche | 45 |
| II.3.1. Cas de la Martinique | |
| II.3.2. Cas de la Guadeloupe | |
| II.4. Discussion | 48 |
| IV.1.1. Contamination par zone et par espèce | |
| IV.1.2. Résultats et réglementation | |
| Chapitre III : Transfert de la molécule de chlordécone dans les réseaux trophiques | 52 |

| | |
|---|----|
| III.1. Voies d'entrée de la chlordécone dans les réseaux trophiques..... | 52 |
| III.1.1. Contamination des sédiments et du biofilm | |
| III.1.2. Contamination du zooplancton et de la matière en suspension (MES) | |
| III.1.3. Contamination des sources végétales | |
| III.2. Transfert de la molécule dans le réseau trophique | 55 |
| III.2.1. Niveau de contamination des consommateurs primaires | |
| III.2.2. Niveau de contamination des organismes symbiotiques | |
| III.2.3. Niveau de contamination des organismes détritvovres et omnivovres | |
| III.2.4. Niveau de contamination des consommateurs secondaires | |
| III.2.5. Comparaison du niveau de contamination entre les catégories trophiques | |
| III.3. Comparaison des niveaux de contamination selon l'habitat | 63 |
| III.4. Discussion..... | 64 |
| III.4.1. Voies d'entrée de la chlordécone dans les réseaux trophiques | |
| III.4.2. Transfert de la molécule entre les niveaux trophiques | |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Conclusion et perspectives | 68 |
|-----------------------------------|-----------|

| | |
|----------------|-----------|
| Annexes | 74 |
|----------------|-----------|

Annexe 1 : localisation des échantillons prélevés en Guadeloupe et concentrations en chlordécone.

Annexe 2 : localisation des échantillons prélevés en Martinique et concentrations en chlordécone.

Annexe 3 : liste des espèces par groupe trophique et leurs noms vernaculaires français.

Annexe 4 : concentrations moyennes en chlordécone mesurées dans les sources de carbone.

Annexe 5 : concentrations moyennes en chlordécone mesurées dans les consommateurs primaires.

Annexe 6 : concentrations moyennes en chlordécone mesurées dans les organismes symbiotiques, omnivores et détritvovres.

Annexe 7 : concentrations moyennes en chlordécone mesurées dans les consommateurs secondaires.

Introduction

L'utilisation de pesticides organochlorés dans les bananeraies des Antilles françaises, et notamment de la « chlordécone », pose des problèmes majeurs de pollutions environnementales et de risques pour la santé publique. En Guadeloupe et en Martinique, cet insecticide a été utilisé de 1972 à 1993 pour lutter contre le charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus*. En Guadeloupe, les zones agricoles polluées sont situées dans le sud de la Basse-Terre, sur les flancs du volcan. En Martinique, les zones concernées sont situées au nord-est et au centre de l'île.

Dès 1977, Snegaroff met en évidence la contamination des sols agricoles ayant reçu des épandages de chlordécone et celle des eaux des rivières avoisinantes. En conclusion de son rapport, il propose d'approfondir l'étude du devenir de la molécule dans les sols (dégradation, accumulation...) afin d'évaluer l'étendue et le risque sanitaire de cette contamination.

Il est avéré à présent que les propriétés physico-chimiques de la chlordécone lui confèrent une extrême stabilité et donc une forte rémanence dans le milieu naturel, ainsi qu'une grande capacité de sorption sur la matière organique des sols. Une fois épandue, la chlordécone se stocke dans les sols pour une durée variant de plusieurs décennies à quelques siècles selon la nature du sol (Cabidoche *et al.*, 2006, 2009).

La toxicité de la chlordécone sur les organismes vivants a été mise en évidence. De nombreuses pathologies ont ainsi été décrites sur les oiseaux ou les mammifères, comme des troubles de la reproduction ou des syndromes de neurotoxicité (Epstein, 1978 ; Huff et Gerstner, 1978). La chlordécone est également cancérigène chez les rats et les souris (Epstein, 1978). Plus récemment, une corrélation entre l'exposition à la chlordécone et les risques de cancer de la prostate a été démontrée chez l'Homme (Multigner *et al.*, 2010) ainsi que des retards de développement cognitifs chez les enfants (Boucher *et al.*, 2013).

Bien que l'utilisation de la chlordécone ait été interdite en 1993, la molécule est toujours présente dans les sols agricoles de Guadeloupe et de Martinique. Le climat tropical des deux îles, caractérisé par des pluies abondantes en saison d'hivernage, induit d'importants épisodes de ruissellement et d'infiltration qui permettent aux molécules de chlordécone de rejoindre le milieu marin par le biais des rivières et des résurgences marines (Cattan *et al.*, 2008 ; Cabidoche, 2011).

Alors que la contamination des systèmes dulçaquicoles avait été démontrée depuis de nombreuses années (Kermarrec, 1980), la contamination du milieu marin n'a été étudiée que tardivement (Bocquené *et al.*, 2002 ; Bouchon et Lemoine, 2003 ; Coat *et al.*, 2006 ; Bouchon et Lemoine, 2007 ; Bertrand *et al.*, 2009, 2010a, b, c, 2012, 2013). Ces premières études, menées sur des poissons et des crustacés marins, ont permis de mettre en évidence la présence de la molécule de chlordécone dans le milieu marin, avec cependant des concentrations inférieures à la limite maximale des résidus autorisée pour la commercialisation et la consommation des produits halieutiques ($200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de poids frais). En 2008, la limite maximale des résidus autorisée est abaissée à $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF (Anon., 2008). Cette nouvelle réglementation a motivé la mise en œuvre de plusieurs campagnes de prélèvements dans le cadre du « Plan Chlordécone I ». L'objectif principal de ces campagnes a été d'étudier le niveau de contamination des espèces halieutiques et de « cartographier » cette contamination

autour de la Guadeloupe et de la Martinique. Des rapports publiés entre 2003 et 2013, ont permis d'identifier les espèces les plus susceptibles d'être contaminées, ainsi que les zones côtières les plus touchées par cette pollution (Bouchon et Lemoine, 2003, 2007 ; Bertrand *et al.*, 2009, 2010a, b, c, 2012, 2013). Ces études ont abouti à l'établissement de zones d'interdiction totale et partielle de pêche, dans lesquelles une liste d'espèces, à fort risque de contamination, sont interdites à la pêche (Anon., 2009 à 2014).

Malgré ces efforts d'échantillonnage conséquents et ces avancées majeures en terme de cartographie de la contamination du milieu marin, certaines insuffisances ont été remarquées. En 2009, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) recommandait un minimum de cinq individus par espèce et par « groupe de zones » (les groupes de zones regroupant plusieurs zones maritimes dont le niveau de contamination est similaire : faible, moyen, élevé). Etant donné l'existence de trois groupes de zones, un minimum de 15 individus par espèce est requis pour toute comparaison et analyse statistique. Or, de nombreuses espèces étaient jusqu'à présent représentées par moins de 10 individus, et parfois originaires de la même zone d'échantillonnage. Par ailleurs, en terme de localisation des prélèvements, certains secteurs de pêche avaient reçu peu d'attention jusqu'à présent (par exemple, le nord de la Caravelle en Martinique ou le littoral du Gosier en Guadeloupe).

La majorité des études réalisées sur la contamination du milieu marin par la chlordécone a été focalisée sur l'évaluation des risques liés à la consommation des ressources halieutiques. Très peu de travaux ont été menés dans un objectif plus écologique, c'est-à-dire dans le but de comprendre les modes de transfert de la molécule dans les réseaux trophiques marins côtiers.

En Guadeloupe, les études menées dans cet objectif ont été réalisées sur un nombre limité d'espèces et d'individus. Les concentrations mesurées étaient inférieures à la LMR de l'époque qui était de $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (Bouchon et Lemoine, 2003, 2007).

En Martinique, une étude plus complète, comparant la contamination de plusieurs espèces de niveaux trophiques différents a été conduite dans la baie du Robert, afin de comprendre la contamination des chaînes trophiques marines (Bodiguel *et al.*, 2011). Cette étude a mis en évidence un phénomène de bioamplification de la molécule dans le réseau trophique qui se traduit par une augmentation de la concentration en chlordécone d'un niveau trophique à un autre par voie trophique, c'est-à-dire par consommation de proies contaminées. Cette étude a souligné la complexité des chaînes alimentaires marines et des voies de contamination, et a introduit de nouvelles perspectives de recherche. Par exemple, dans ces travaux, la contamination des sources de carbone analysées, Phanérogames marines et sédiments, présentaient des valeurs inférieures au seuil de détection. Peu d'études ont été menées sur les producteurs primaires et les sédiments marins (Bocquené et Franco, 2005 ; Bouchon *et al.*, 2010 ; Robert, 2012 ; Bouchon *et al.*, 2016), bien que leur contamination permettrait l'identification des voies d'entrée principales de la chlordécone dans les réseaux trophiques.

Afin de poursuivre le travail des études précédentes et d'avancer dans la compréhension de la contamination du milieu marin par la chlordécone, le projet « Chlohal » intitulé « Consolidation des connaissances sur la contamination de la faune halieutique en Guadeloupe et en Martinique » a été rédigé dans le cadre du « Plan Chlordécone II ». Ce projet de 24 mois a débuté en juillet 2013. Le projet « Chlohal » est axé autour de deux

objectifs principaux.

Le premier objectif est d'améliorer la cartographie de la contamination autour de la Guadeloupe et de la Martinique en complétant les échantillonnages précédents en terme de nombre d'individus par espèce et par zone géographique.

Le deuxième objectif est d'avancer dans la compréhension des phénomènes de contamination et de transfert de la molécule dans les réseaux trophiques marins.

Le projet Chlohal a débuté par un travail de préparation et de conception de l'étude qui a duré trois mois et qui a permis de dresser un bilan des connaissances, d'identifier les insuffisances et d'établir le protocole d'échantillonnage. La mise en œuvre de l'étude a ensuite duré 15 mois durant lesquels les prélèvements et les analyses ont été réalisés. Enfin, l'interprétation des résultats et la rédaction des résultats ont mené à l'aboutissement de ce projet en juillet 2015.

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Localisation de l'étude

I.1.1. Zones d'étude utilisées pour la partie « cartographie »

Lors des études précédentes, des zones maritimes ont été délimitées afin d'organiser géographiquement les prélèvements autour des deux îles. Ces zones ont été adaptées à partir des masses d'eau établies dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Chaque zone délimite des masses d'eau dont les caractéristiques hydrodynamiques sont considérées comme étant relativement homogènes. La Martinique est ainsi découpée en 10 zones maritimes, notées de M1 à M10, tandis que la Guadeloupe en compte 11 notées de G1 à G11 (Figure I.1).

Les concentrations moyennes en chlordécone mesurées dans les organismes collectés dans ces zones avaient permis de regrouper les zones selon leur niveau de contamination. Ainsi, en débutant ce projet, trois groupes de zones étaient établis en se basant sur les recommandations de l'AFSSA (AFSSA, 2009) et sur les prélèvements réalisés jusqu'en 2013 :

- zones du groupe 1, associées à des produits contenant de faibles teneurs en chlordécone (moyenne $< 10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF) : M4, M8, M9, M10, G6, G7, G8, G9, G10 ;
- zones du groupe 2, associées à des produits dont les teneurs en chlordécone sont variables : M3, M5, M6, G3, G4, G5 ;
- zones du groupe 3 (aussi appelées « zones à risque »), associées à des produits dont les teneurs en chlordécone peuvent être élevées (moyenne $> 20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF) : M1, M2, M7, G1 et G2.

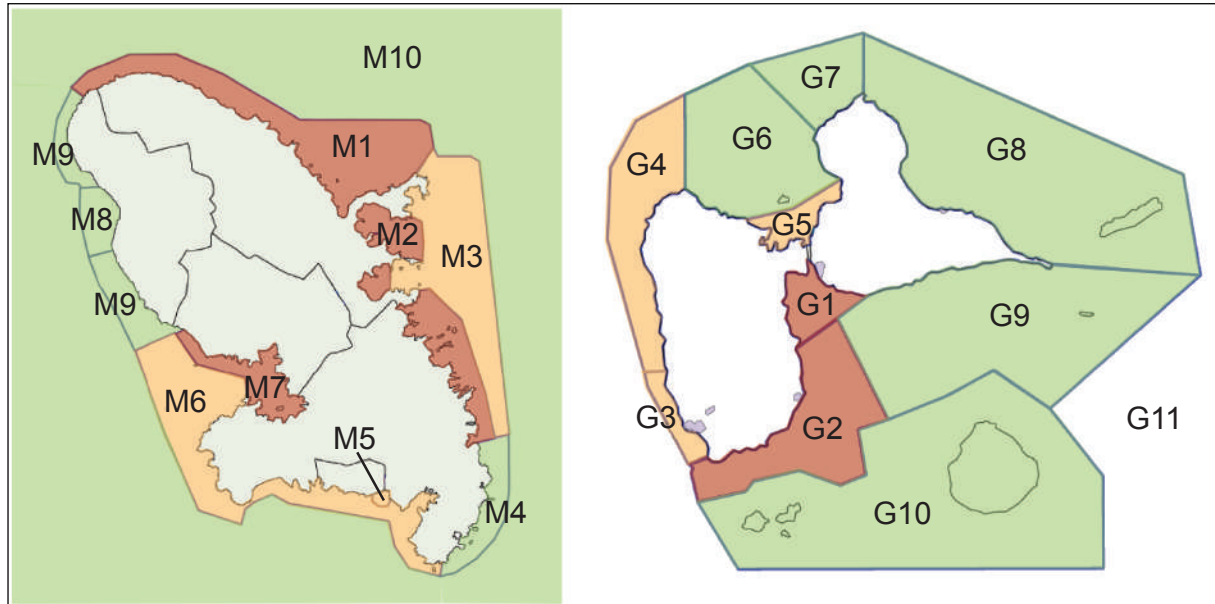


Figure I.1 : zones de prélèvements en Martinique (à gauche) et en Guadeloupe (à droite). Les couleurs des zones se rapportent aux groupes de zones. En vert : zones du groupe 1, en orange : zones du groupe 2 et en rouge : zones du groupe 3.

Les prélèvements réalisés dans le cadre du projet Chlohal ont été mis en place à partir de cette délimitation. Le plan d'échantillonnage a été rédigé en fonction du nombre d'échantillons manquants par groupes de zones.

I.1.2. Sites choisis pour l'étude des réseaux trophiques

Afin d'étudier la contamination des réseaux trophiques, deux sites ont été choisis sur la côté est de la Basse-Terre en Guadeloupe. Ces deux sites, situés à Goyave et à Petit-Bourg, présentent des caractéristiques hydrodynamiques semblables, étant tous deux exposés à la houle et au vent, bien que le site de Petit-Bourg soit un peu plus enclavé dans le petit Cul-de-Sac marin que celui de Goyave (Figure I.2).

Ces sites ont été choisis pour plusieurs raisons. Premièrement, ces deux sites reçoivent des eaux chargées en chlordécone et sont ainsi bien exposés à cette pollution. Cette condition était nécessaire pour garantir la détection d'un signal dans l'ensemble du réseau trophique. Deuxièmement, les trois habitats marins étudiés (la mangrove, l'herbier à Magnoliophytes marins et le récif corallien) sont présents sur ces deux sites. Ces écosystèmes sont présents en Guadeloupe et en Martinique et représentent les trois types d'habitats principaux de la faune marine tropicale. Ces trois milieux sont par ailleurs généralement interconnectés (par exemple, les juvéniles s'abritent dans les racines des palétuviers puis rejoignent le récif à l'âge adulte). Le choix d'étudier ces trois habitats permet également d'évaluer le niveau de contamination des organismes selon la distance à la côte, c'est-à-dire le long d'un gradient, puisque les organismes peuvent être étudiés de la côte (mangrove) vers le large (récif).

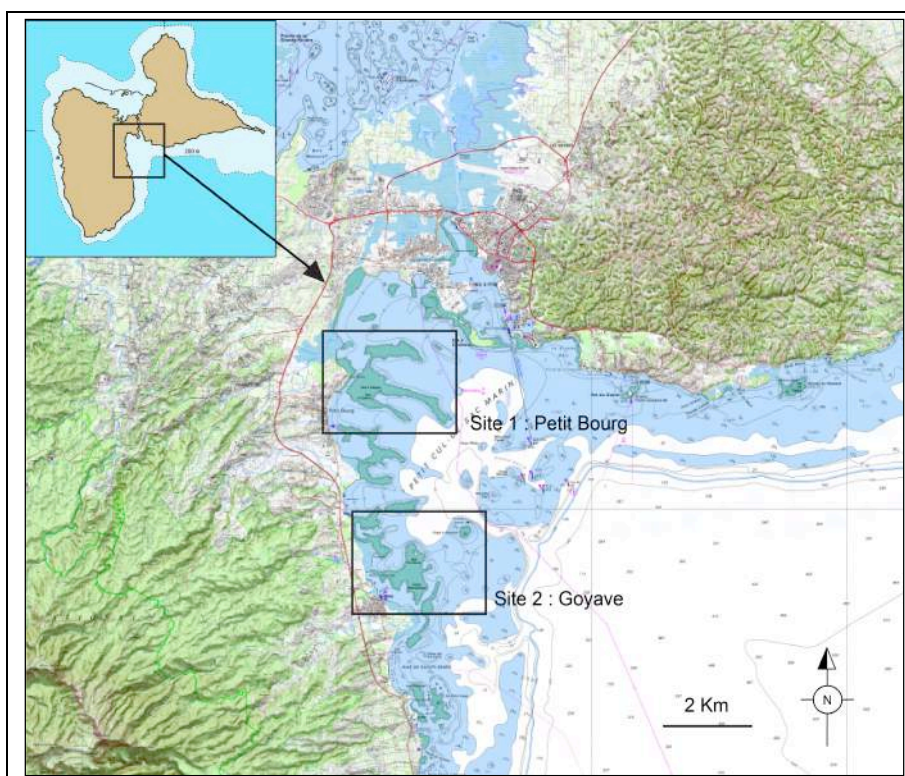


Figure I.2 : localisation des deux sites choisis en Guadeloupe pour l'étude des réseaux trophiques.

Sur chacun des deux sites étudiés, le récif corallien, c'est-à-dire la station la plus éloignée de la côte, est situé à 3 km du rivage. L'herbier à Magnoliophytes marins est situé à environ 1,5 km de la côte tandis que la station « mangrove » est située en bordure du littoral soit à moins de 20 m du bord.

I.2. Plan d'échantillonnage

I.2.1. Données historiques

Les données « historiques » sont les données recueillies avant le projet Chlohal. Entre 2003 et 2014, 2998 échantillons ont été collectés et analysés sur les deux îles par cinq maîtres d'ouvrage différents : l'Université des Antilles et de la Guyane (UAG), l'Institut Français pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer), la Direction des Services Vétérinaires (DSV), la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DAAF) et la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL). Le détail des campagnes d'échantillonnage est donné dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : nombre d'échantillons prélevés par année, région et par maître d'ouvrage (MOA), laboratoire d'analyse et publications correspondantes.

| Années | Guadeloupe | Martinique | Total | MOA | Laboratoires | Publications |
|--------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------------|---|
| 2003 | 15 | - | 15 | UAG | La Drôme | Bouchon et Lemoine (2003) |
| 2007 | 49 | - | 49 | UAG | La Drôme | Bouchon et Lemoine (2007) |
| 2008 | 176 | - | 176 | DSV | La Drôme | Bertrand <i>et al.</i> (2009, 2013) |
| 2008 | - | 141 | 141 | DSV | La Drôme | Bertrand <i>et al.</i> (2009, 2012) |
| 2008 | - | 91 | 91 | Ifremer | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2009, 2012) |
| 2009 | 437 | 268 | 705 | DSV | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2010, 2012, 2013) |
| 2009 | 189 | 56 | 245 | Ifremer | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2010, 2012, 2013) |
| 2010 | 481 | 603 | 1084 | DSV | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2012, 2013) |
| 2011 | - | 1 | 1 | DAAF | Idhesa | |
| 2011 | 36 | - | 36 | DSV | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2013) |
| 2011 | - | 207 | 207 | Ifremer | Idhesa | Bertrand <i>et al.</i> (2012) |
| 2012 | - | 57 | 57 | DAAF | Idhesa | |
| 2013 | 55 | 51 | 106 | DAAF | Labocea* | |
| 2013 | - | 42 | 42 | DEAL | Labocea* | |
| 2014 | 42 | 1 | 43 | UAG | Labocea* | Dromard <i>et al.</i> (2014) |
| Total | 1480 | 1518 | 2998 | | | Dromard <i>et al.</i> (2015) |

*Labocea est le nouveau nom du laboratoire Idhesa à Plouzané.

I.2.2. Identification des insuffisances en terme de cartographie

Pour compléter la cartographie de la contamination marine, les espèces ont été ordonnées selon leur degré de « priorité ». Pour cela, différents critères ont été définis permettant l'élaboration d'une grille d'évaluation.

A partir des données historiques, le nombre d'échantillons collectés par espèce et par groupe de zones a été répertorié dans un tableau. Par exemple, pour l'espèce *Epinephelus guttatus*, avant le démarrage du projet en 2013, six échantillons avaient été collectés dans le groupe de zones 3, neuf dans le groupe 2 et 26 dans le groupe 1. D'après les recommandations de l'AFSSA et selon les conditions requises d'un point de vue statistique, le nombre minimal d'échantillons prélevés, nécessaire pour que l'échantillonnage d'une espèce soit considéré comme complet dans la suite de l'analyse, a été fixé à 10 échantillons par groupe de zones. Dans l'exemple précédent, l'échantillonnage de l'espèce *Epinephelus*

guttatus n'est donc pas complet pour permettre une étude approfondie de son niveau de contamination. Il manque pour cela au minimum quatre échantillons dans le groupe de zones 3 et un dans le groupe 2. Toutes les espèces dont le nombre d'échantillons dépassait 10 individus par groupe de zones ont été écartées du plan d'échantillonnage lors de ce premier niveau de tri.

Pour les autres espèces, une série de critères écologiques (régime alimentaire, habitat au stade exploité, mobilité de l'espèce) mais aussi économiques (quantités annuelles pêchées) a été établie. Ces critères, notés selon une échelle semi-quantitative : « 1 », « 2 » et « 3 » (renvoyant aux notions de « faible », « moyen », « fort »), ont permis d'ordonner les espèces selon leur « importance » dans le futur plan d'échantillonnage.

Lorsque des prélèvements supplémentaires ont été jugés nécessaires, le nombre d'échantillons à prélever par espèce et par groupe de zones a été déduit des prélèvements précédents (pour atteindre 10 individus par espèce et par groupe de zones).

Parallèlement, certaines espèces qui n'apparaissent pas comme étant prioritaires dans les grilles d'évaluation ont néanmoins été retenues. Il s'agit des espèces très côtières qui transitent via des circuits courts (espèces pêchées et autoconsommées ou vendues sur le bord de la route) comme par exemple les brochets de mer (du genre *Centropomus*).

Le plan d'échantillonnage a été précisé pour indiquer dans quelle zone géographique les échantillons devaient être prélevés. Le choix des sites, au sein d'un groupe de zones, a été justifié par des manques de prélèvements observés dans la cartographie. Par exemple, les prélèvements supplémentaires qui devaient être menés dans le groupe de zones 2, ont été effectués préférentiellement dans le nord de la zone M06 ou dans la zone G03, puisque ces zones laissaient apparaître des vides dans la cartographie. De la même manière, les prélèvements supplémentaires du groupe de zones 1 ont été réalisés préférentiellement dans le sud de la zone M01 qui avait reçu peu d'attention jusqu'au projet CHLOHAL.

1.2.3. Nombre d'échantillons par espèce et par zone

Le plan d'échantillonnage initial a été présenté et validé lors du comité de pilotage en octobre 2013. Cependant, certains aménagements ont ensuite dû être réalisés du fait de difficultés du terrain ou de problèmes logistiques (disponibilité des pêcheurs, conditions météorologiques, échouages des sargasses...). Les modifications du plan d'échantillonnage ont été réalisées après accord entre les bureaux d'étude qui ont effectué les prélèvements et le maître d'œuvre. La liste des prélèvements réalisés est donnée dans le tableau I.2.

Tableau I.2 : nombre d'échantillons prélevés par espèce et par zone, pour la partie « cartographie ». N est le nombre total d'échantillons prélevés par espèce. (groupe 1 : concentrations < 10 µg.kg⁻¹; groupe 2 : concentrations comprises entre 10 et 20 µg.kg⁻¹; groupe 3 : concentrations > 20 µg.kg⁻¹).

| Groupes de zones | Groupe 3 | | | Groupe 2 | | | | Groupe 1 | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------|----|----|----------|----|----|----|----------|----|-----|----|----|----|-----|----|
| Zones | M1 | M2 | M7 | G3 | G4 | M3 | M6 | G6 | G9 | G10 | M4 | M8 | M9 | M10 | N |
| POISSONS | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ablennes hians</i> | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| <i>Acanthostracion polygonius</i> | 7 | 1 | | | | | 9 | | | | | | 7 | 1 | 25 |
| <i>Acanthostracion quadricornis</i> | 2 | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| <i>Archosargus rhomboidalis</i> | | | | | | | | | | | | | 5 | | 5 |
| <i>Aulostomus maculatus</i> | | | 2 | | | | 10 | | | | | | 10 | | 22 |
| <i>Bodianus rufus</i> | | | 8 | 3 | 7 | | | 5 | 2 | 3 | | | | | 28 |
| <i>Cantherhines macrocerus</i> | | | 4 | | | 5 | | | | | | | | | 9 |
| <i>Caranx hippos</i> | | 7 | | | | | | | | | | | | | 7 |
| <i>Caranx latus</i> | | | | | | | 1 | | | | | 2 | 1 | | 4 |
| <i>Caranx ruber</i> | 1 | | 1 | | | | 2 | | | | | | | | 4 |
| <i>Centropomus ensiferus</i> | | | | | | | 3 | | | | 1 | | | | 4 |
| <i>Centropomus sp.</i> | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| <i>Centropomus undecimalis</i> | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| <i>Cephalopholis cruentata</i> | | | | 7 | | | | 5 | 2 | | | | | | 14 |
| <i>Decapterus macarellus</i> | | | 5 | | | | 4 | | | | | | | | 9 |
| <i>Decapterus punctatus</i> | | | 5 | | | | 4 | | | | | | | | 9 |
| <i>Elagatis bipinnulata</i> | 7 | | | | | 1 | 9 | | | | | | | | 17 |
| <i>Epinephelus guttatus</i> | | | 5 | 1 | | 1 | 4 | | | | | | 3 | | 14 |
| <i>Euthynnus alletteratus</i> | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Gerres cinereus</i> | | | | | | 5 | 5 | | | | | | 9 | | 19 |
| <i>Haemulon bonariense</i> | | | 8 | | | | 7 | | | | | | 5 | | 20 |
| <i>Haemulon carbonarium</i> | 2 | 2 | 2 | | | 5 | 5 | | | | | 2 | 2 | | 20 |
| <i>Haemulon chrysargyreum</i> | 4 | | | | | | 7 | | | | | | 9 | | 20 |
| <i>Haemulon flavolineatum</i> | 9 | | | | | 8 | | | | | | 3 | | 5 | 25 |
| <i>Hemiramphus brasiliensis</i> | | 8 | | | | | 7 | | | | | 1 | 2 | | 18 |
| <i>Heteropriacanthus cruentatus</i> | | | | 1 | | | | | 2 | | | | | | 3 |
| <i>Kyphosus sp.</i> | | 8 | 2 | | | 8 | | | | | | | 9 | | 27 |
| <i>Lutjanus analis</i> | | 2 | 5 | 3 | | 1 | 2 | 4 | 1 | 5 | 4 | | 2 | | 29 |
| <i>Lutjanus apodus</i> | | | 4 | | | 1 | 5 | | | | | | 3 | | 13 |
| <i>Lutjanus buccanella</i> | | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 |
| <i>Lutjanus griseus</i> | | 1 | 8 | | | | 3 | | | | | 3 | 6 | | 21 |
| <i>Lutjanus mahogoni</i> | | | | 6 | 3 | | | 3 | 6 | | | | | | 18 |
| <i>Lutjanus synagris</i> | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| <i>Lutjanus vivanus</i> | | | | | 3 | | | | | | | | | | 3 |
| <i>Mugil curema</i> | | | 5 | | | | 3 | | | | | | 5 | | 13 |
| <i>Myripristis jacobus</i> | 1 | | | | | 5 | 2 | | | | | 1 | 5 | | 14 |
| <i>Pomacanthus paru</i> | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| <i>Rhomboplites aurorubens</i> | | | 1 | | | | 8 | | | | | | | | 9 |
| <i>Scarus iseri</i> | | | | | | | 1 | | | | | | 2 | | 3 |

Tableau I.2 (suite) : nombre d'échantillons prélevés par espèce et par zone, pour la partie « cartographie ». N est le nombre total d'échantillons prélevés par espèce. (groupe 1 : concentrations < 10 µg.kg⁻¹; groupe 2 : concentrations comprises entre 10 et 20 µg.kg⁻¹; groupe 3 : concentrations > 20 µg.kg⁻¹).

| Groupes de zones | Groupe 3 | | | Groupe 2 | | | | Groupe 1 | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| Zones | M1 | M2 | M7 | G3 | G4 | M3 | M6 | G6 | G9 | G10 | M4 | M8 | M9 | M10 | N |
| POISSONS | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scarus taeniopterus</i> | | | | | | | 5 | | | | | | 8 | | 13 |
| <i>Selar crumenophthalmus</i> | | | 7 | | | 3 | 3 | | | | | | | | 13 |
| <i>Sphyraena guachancho</i> | | 1 | | | | 2 | 1 | | | | | | | | 4 |
| <i>Sphyraena picudilla</i> | | | 9 | | | 1 | 6 | | | | | | 10 | | 26 |
| <i>Synodus intermedius</i> | | | 10 | | | | 10 | | | | | | 10 | | 30 |
| <i>Tylosurus crocodilus</i> | | | 10 | | | 10 | | | | | 1 | | 4 | | 25 |
| ECHINODERMES | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Tripneustes ventricosus</i> | | | | | | 5 | | | | | | 1 | 3 | | 9 |
| CRUSTACES | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Callinectes exasperatus</i> | | | | | | | | | | | 9 | | | | 9 |
| <i>Carpilius corallinus</i> | | 1 | | | | 5 | | | | | 9 | | 1 | | 16 |
| <i>Mithrax pilosus</i> | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| <i>Mithrax sp.</i> | | | | | | 3 | | | | | | | | | 3 |
| <i>Mithrax spinosissimus</i> | | 1 | | | | 2 | | | | | | | | | 3 |
| <i>Parribacus antarcticus</i> | | 7 | 3 | | | | | | | | 3 | | 7 | | 20 |
| <i>Ucides cordatus</i> | | | | | | 8 | | | | | 10 | | | | 18 |
| Total | 34 | 39 | 105 | 21 | 13 | 80 | 128 | 17 | 13 | 8 | 37 | 13 | 129 | 16 | 653 |

I.2.4. Identification des insuffisances pour l'étude des réseaux trophiques

Très peu de données sont disponibles sur la contamination des réseaux trophiques marins par la chlrodécone, notamment en ce qui concerne la contamination des sources de carbone associées aux récifs coralliens, aux herbiers ou aux mangroves (macroalgues, Magnoliophytes, coraux, éponges, plancton, biofilm...). Sur les deux sites étudiés, Petit-Bourg et Goyave, une grande partie des sources et des consommateurs constituant la chaîne alimentaire marine a été prélevée dans chacune des stations (récif, herbier et mangrove).

Parmi les sources de carbone, figurent :

- le sédiment ;
- le biofilm ;
- la matière en suspension (MES) qui contient également le phytoplancton ;
- le zooplancton ;
- les sources végétales: macroalgues, gazon algal, Magnoliophytes et litière de feuilles.

Parallèlement, différentes catégories de consommateurs ont été prélevées. Les consommateurs dits « primaires » consomment directement les sources de carbone présentes, c'est-à-dire la matière en suspension, le biofilm ou les végétaux. Il s'agit :

- des suspensivores (Pinna, huîtres, éponges, sabelles) ;
- des filmivores (holothurie, lambi) ;

- des organismes herbivores (HB) : brouteurs et autres consommateurs de matière végétale (poisson herbivores, araignées de mer, oursins, Mollusques cérithidés) ;

Les consommateurs dits « secondaires » appartiennent à un niveau trophique supérieur et regroupent :

- les organismes carnivores de premier ordre (C1), c'est-à-dire les consommateurs d'invertébrés (poissons et mollusques C1) ;

- les poissons planctonophages : poissons qui consomment du zooplancton ;

- poissons carnivores de deuxième ordre (C2), soit les consommateurs d'invertébrés et de poissons (poissons C2) ;

- les poissons piscivores qui ne consomment que des poissons.

Les organismes détritvires et les organismes omnivores (notés DET-OMNI) c'est-à-dire les crustacés et poissons consommant de la matière morte ou vivante, d'origine végétale ou animale (crabes, langoustes et poissons), ont été classés à part des autres consommateurs étant donné la particularité de leur régime alimentaire. De la même façon, les organismes symbiotiques, comme les coraux et les anémones, sont également des consommateurs particuliers, puisqu'ils consomment du zooplancton la nuit et produisent de la matière organique le jour grâce à la photosynthèse de leur symbiotes. Ces prélèvements totalisent 490 échantillons, regroupant 92 espèces animales et végétales, pour obtenir une vision globale de la transmission de la contamination dans la chaîne alimentaire. Le nombre de prélèvements par site, par habitat et par catégories trophiques est donné dans le tableau I.3. La liste complète des prélèvements, espèce par espèce, est donnée dans les annexes 4 à 7.

Tableau I.3 : nombre de prélèvements collectés par site et par habitat pour l'étude des réseaux trophiques en Guadeloupe.

| Sites | Goyave | | | Petit Bourg | | |
|--|-----------|------------|------------|-------------|------------|-----------|
| | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| Sources de carbone | | | | | | |
| Sédiment | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Biofilm | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| MES-Phytoplancton | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Zooplancton | - | - | 2 | - | - | 3 |
| Sources végétales | 9 | 21 | 15 | 6 | 18 | 14 |
| Organismes symbiotiques | - | 3 | 9 | - | - | 8 |
| Détritvires et omnivores | 11 | 4 | 11 | 14 | 3 | 9 |
| Consommateurs primaires | | | | | | |
| Suspensivores | 3 | 4 | 6 | 3 | 7 | 6 |
| Filmivores | - | 6 | 6 | - | 7 | 2 |
| Herbivores (HB) | 3 | 6 | 17 | | 11 | 11 |
| Consommateurs secondaires | | | | | | |
| Carnivores 1 ^{er} ordre (C1) | 19 | 16 | 8 | 13 | 14 | 12 |
| Planctonophages | 9 | 4 | 3 | 5 | - | 3 |
| Carnivores 2 ^{ème} ordre (C2) | 13 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| Piscivores | 2 | - | 10 | 12 | 1 | 7 |
| Total par habitat | 78 | 78 | 102 | 67 | 76 | 89 |
| Total par site | | 258 | | | 232 | |

I.3. Campagnes de prélèvements en mer

Les prélèvements en mer ont été réalisés à la fois par des bureaux d'étude et par l'équipe BOREA -DYNECAR de l'Université des Antilles (UA). Les bureaux d'étude ont réalisé les prélèvements se référant à la partie « cartographie » et ont travaillé en collaboration avec les marins pêcheurs professionnels de Guadeloupe et de Martinique. En Martinique, le bureau d'étude « Impact Mer » a prélevé 572 échantillons. Cette campagne s'est déroulée de juillet 2014 à février 2015. En Guadeloupe, le bureau d'étude « Ardops Environnement » a collecté 72 échantillons. Cette campagne a été réalisée de mai 2014 à octobre 2014. Au total, avec les données historiques, 2090 échantillons ont été analysés en Martinique et 1552 en Guadeloupe, pour l'étude cartographique (Tableau II.1).

De plus, les membres de l'équipe BOREA – DYNECAR ont réalisé les prélèvements se rapportant à l'étude des réseaux trophiques. Pour ce faire, 500 échantillons ont été collectés, de janvier 2014 à janvier 2015.

Différentes méthodes et engins de pêches ont été utilisés lors des campagnes de prélèvements, selon les espèces recherchées et la zone échantillonnée (plongée libre, chasse sous-marine, nasses, filets...). Tous les prélèvements réalisés en mer ont été géoréférencés.

I.4. Préparation des échantillons

Chaque individu collecté a été identifié, mesuré au dixième de centimètre près et pesé au dixième de gramme près avant d'être disséqué. Pour chaque animal, un morceau de muscle a été prélevé (le muscle dorsal avec la peau pour les poissons, la « chair blanche » pour les crustacés et la chair pour les mollusques), conditionné dans du papier d'aluminium, puis congelé avant envoi vers le laboratoire d'analyse, selon les recommandations de la direction générale de l'alimentation (DGAL, 2008).

En règle générale, un échantillon était constitué d'un seul individu. Cependant, pour les espèces de poissons de petite taille, les *Pinna*, les huîtres, les Gastéropodes, les oursins, le plancton, les échantillons étaient constitués de plusieurs individus afin d'obtenir le poids de chair requise pour l'analyse. Pour les oursins, ce sont les gonades qui ont été prélevées. Les autres échantillons (macroalgues, éponges, litière de feuilles...) ont été rincés à l'eau distillée puis stockés au congélateur dans du papier d'aluminium. Les morceaux de corail ont été grattés avec un couteau pour en extraire la chair et le mucus.

Les sédiments ont été récoltés avec un carottier sur environ 10 cm de profondeur. La teneur en matière organique du sédiment a été calculée par la différence de poids sec des échantillons de sédiment avant et après calcination au four à moufle (450 °C durant 1h). Le biofilm, qui représente la fine couche de matière organique à la surface du sédiment, a été récolté avec un collecteur. De cette façon, le premier centimètre de matière a été récupéré.

Le zooplancton a été récupéré en tractant un filet à plancton (150 µm de vide de maille) derrière le bateau durant environ 40 minutes sur chaque site.

La matière en suspension (MES) a été récoltée après filtration de l'eau de mer sur des filtres en fibre de verre (Whatman GF/F 45 µm). Pour garantir l'obtention d'une quantité suffisante de matière pour les analyses, 20 à 50 l d'eau de mer ont été récupérés selon la station. Trois filtres par habitat ont été analysés.

Pour chaque échantillon, à l'exception du plancton et des filtres de MES, entre 20 et 50 g de poids frais ont été expédiés au laboratoire d'analyse. Les échantillons congelés ont été transportés dans des colis remplis de carboglace.

I.5. Analyse des concentrations en chlordécone

Les mesures de concentrations en chlordécone ont été réalisées par le laboratoire d'analyse LABOCEA, situé à Plouzané, selon la méthode d'analyse recommandée par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES/POP/09).

La chlordécone est extraite de l'échantillon par un mélange de solvants organiques (hexane-acétone) puis transformé en chlordécone hydrate en présence de soude. Ce composé est soluble dans la phase aqueuse qui est rincée à l'hexane pour en éliminer la matière grasse. La chlordécone est reformée en milieu acide, extraite par un mélange hexane-acétone et dosée par chromatographie liquide haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (UPLC-MS/MS). Le seuil de quantification de la chlordécone dans les échantillons d'origine animale est de $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF (poids frais) et de $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF pour les échantillons d'origine végétale. Le seuil de détection pour les échantillons d'origine sédimentaire (sédiments et biofilm) est de $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ MS (masse sèche) tandis que le seuil de quantification est de $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ MS pour ces mêmes échantillons.

I.6. Analyses statistiques

La normalité des données a été vérifiée par des tests de Shapiro-Wilk. Puisque les données ne suivaient pas une loi normale, les comparaisons ont été réalisées à l'aide de tests de Kruskal-Wallis suivis de tests post hoc de comparaison multiples lorsqu'une différence statistiquement significative était démontrée. Ces tests non-paramétriques ont permis de comparer les concentrations en chlordécone entre les catégories trophiques ou encore les différents habitats étudiés.

Chapitre II : Amélioration de la cartographie de la contamination de la faune halieutique

Ce chapitre est basé sur l'amélioration de la cartographie de la contamination de la faune halieutique autour de la Guadeloupe et de la Martinique. Les données « historiques », collectées avant le début du projet Chlohal, et les données obtenues dans le cadre du projet Chlohal ont été compilées afin d'étudier la contamination des échantillons par zone géographique et par espèce.

II.1. Bilan des campagnes d'échantillonnage

II.1.1. Bilan des données « historiques »

Entre 2003 et 2014 (hors Chlohal) 2998 échantillons ont été analysés, 1480 en Guadeloupe et 1518 en Martinique (Figures II.1). L'effort d'échantillonnage a été particulièrement important en 2009 et 2010. Ces résultats ont été acquis principalement dans le cadre du contrôle sanitaire des produits de la pêche (2 307 prélèvements réalisés par la DSV et la DAAF) et dans les programmes de recherche (543 échantillons Ifremer, 106 pour l'université de Guadeloupe, Figure II.2).

Ces résultats concernent les échantillons pour lesquels nous disposons de coordonnées géographiques permettant de localiser précisément la zone de pêche.

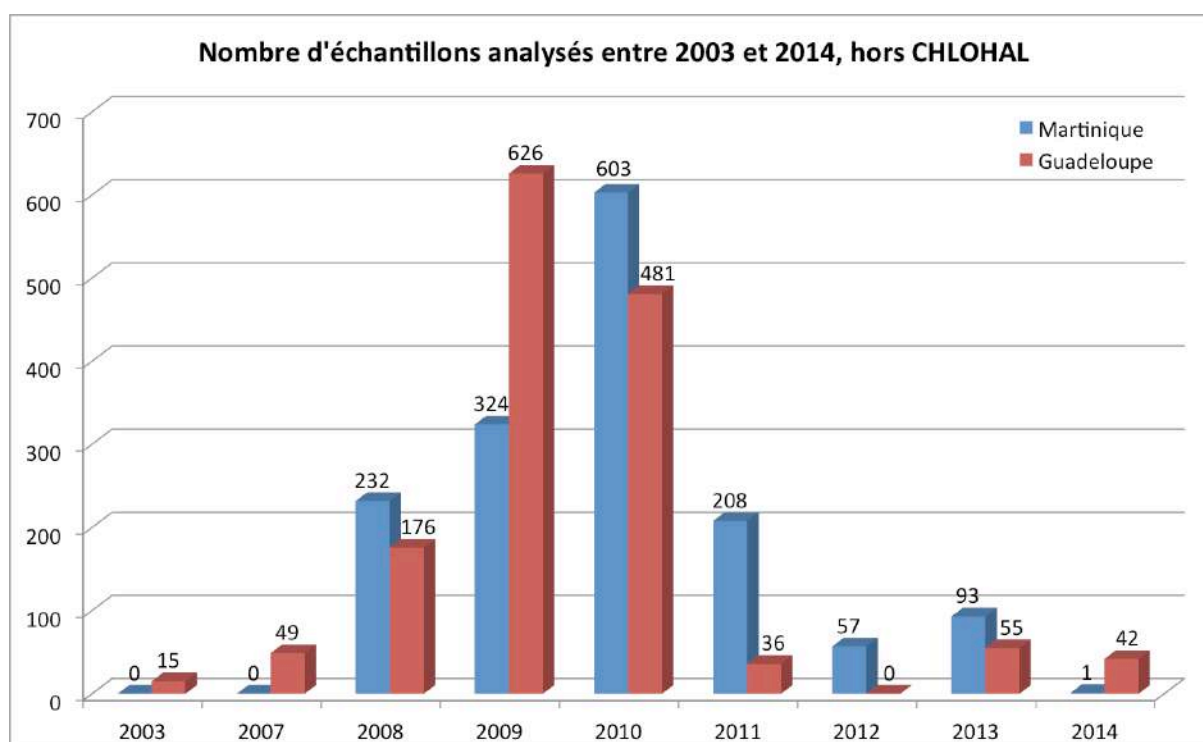


Figure II.1: nombre d'échantillons analysés entre 2003 et 2014 (hors Chlohal)

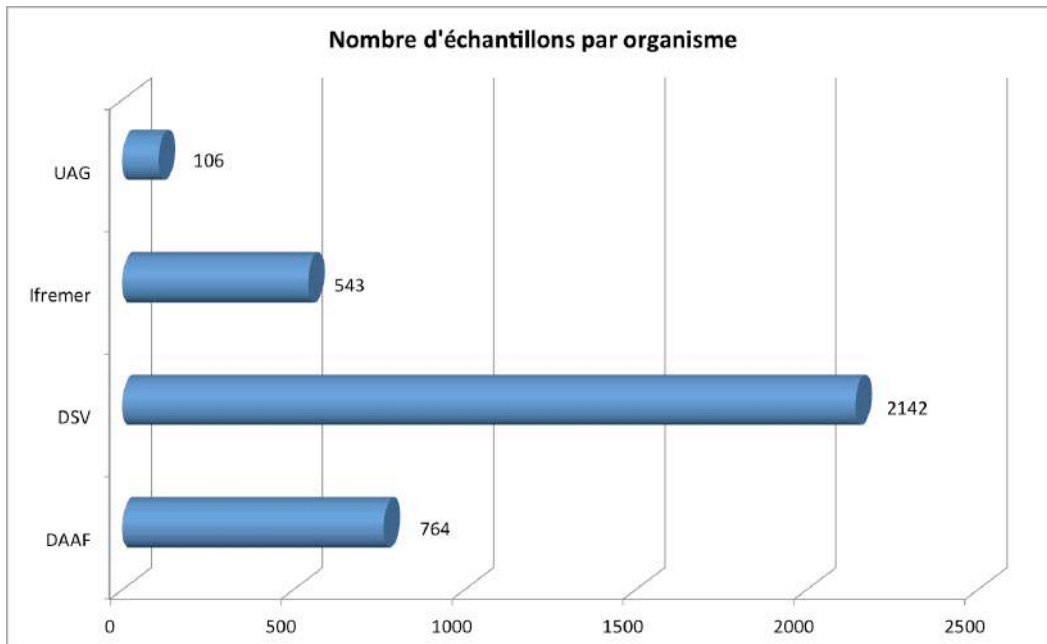


Figure II.2: répartition des échantillons par organismes maîtres d'ouvrage.

II.1.2. Bilan de l'échantillonnage « Chlohal »

Pour ce qui concerne la cartographie de la contamination, en Martinique, 572 prélèvements ont été réalisés dans les différentes zones étudiées conformément au plan d'échantillonnage (Figures II.3 et II.4) et 72 prélèvements en Guadeloupe.

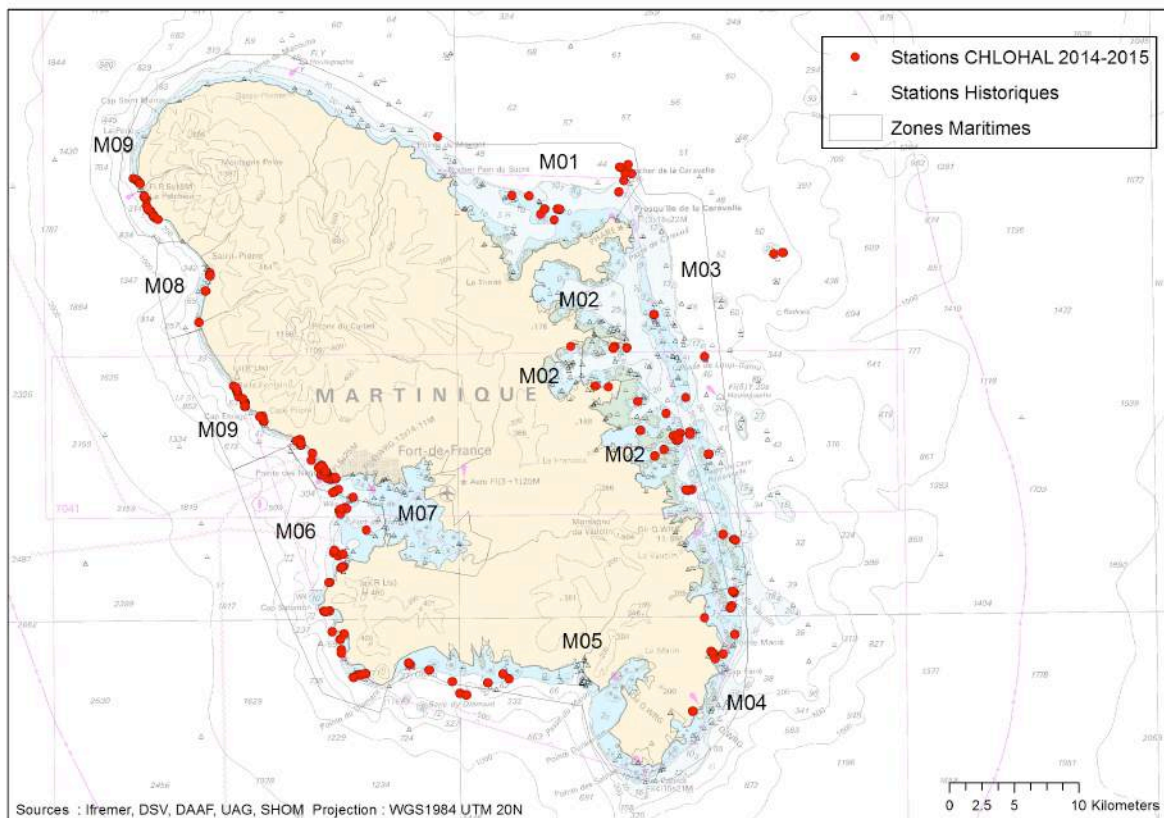


Figure II.3 : localisation des échantillons du programme Chlohal en Martinique

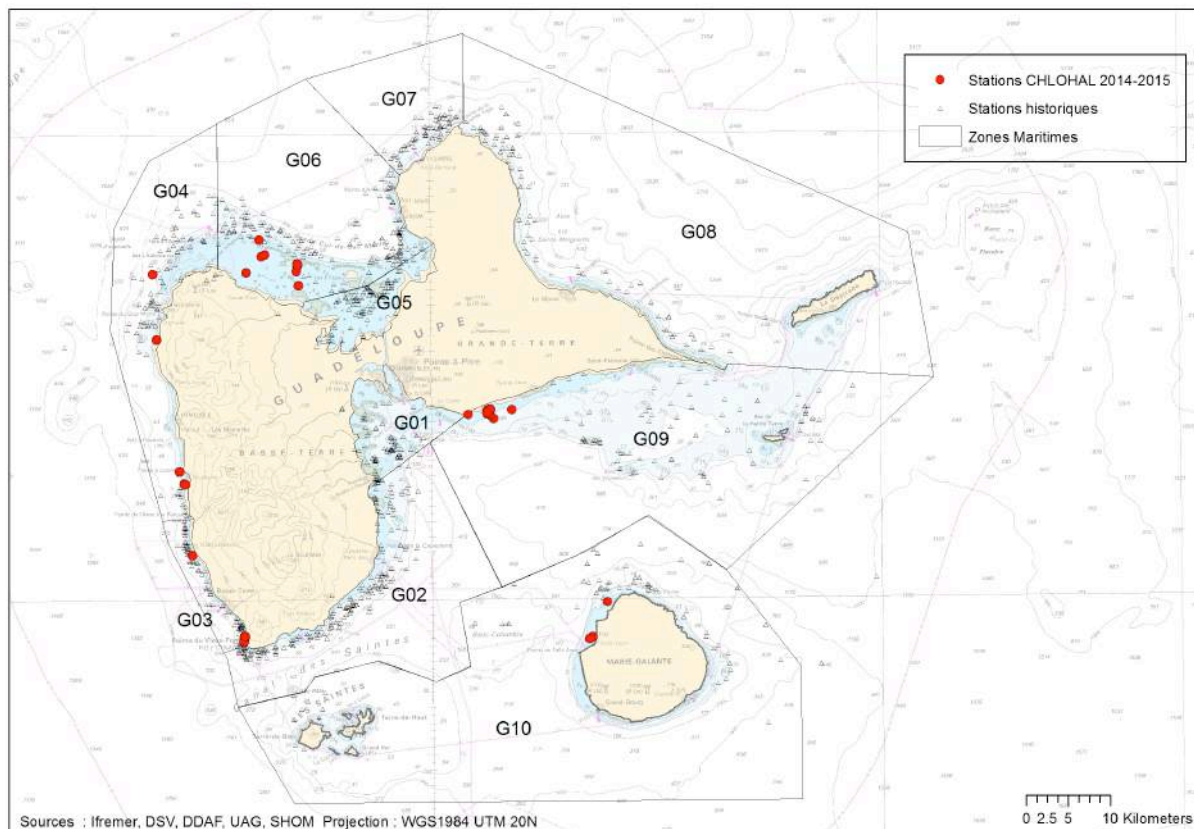


Figure II.4 : localisation des échantillons du programme Chlohal en Guadeloupe

Les données historiques et les données Chlohal ont été compilées pour un traitement global et offrir un panorama le plus exhaustif possible de la contamination de la faune halieutique de ces deux départements par la chlordécone.

La cartographie de la contamination présentée dans ce chapitre repose sur un total de 3642 résultats (Tableau II.1).

Tableau II.1 : nombre d'échantillons analysés par région.

| | Martinique | Guadeloupe | Total |
|---------------------|------------|------------|-------|
| Données historiques | 1518 | 1480 | 2998 |
| Données Chlohal | 572 | 72 | 644 |
| Total | 2090 | 1552 | 3642 |

II.2. traitement des données

II.2.1. Présentation globale des résultats

Pour faciliter leur représentation cartographique, les résultats ont été rangés en classes de contamination. La figure II.5 présente les résultats obtenus en pourcentages dans les différentes classes de contamination, pour chaque département.

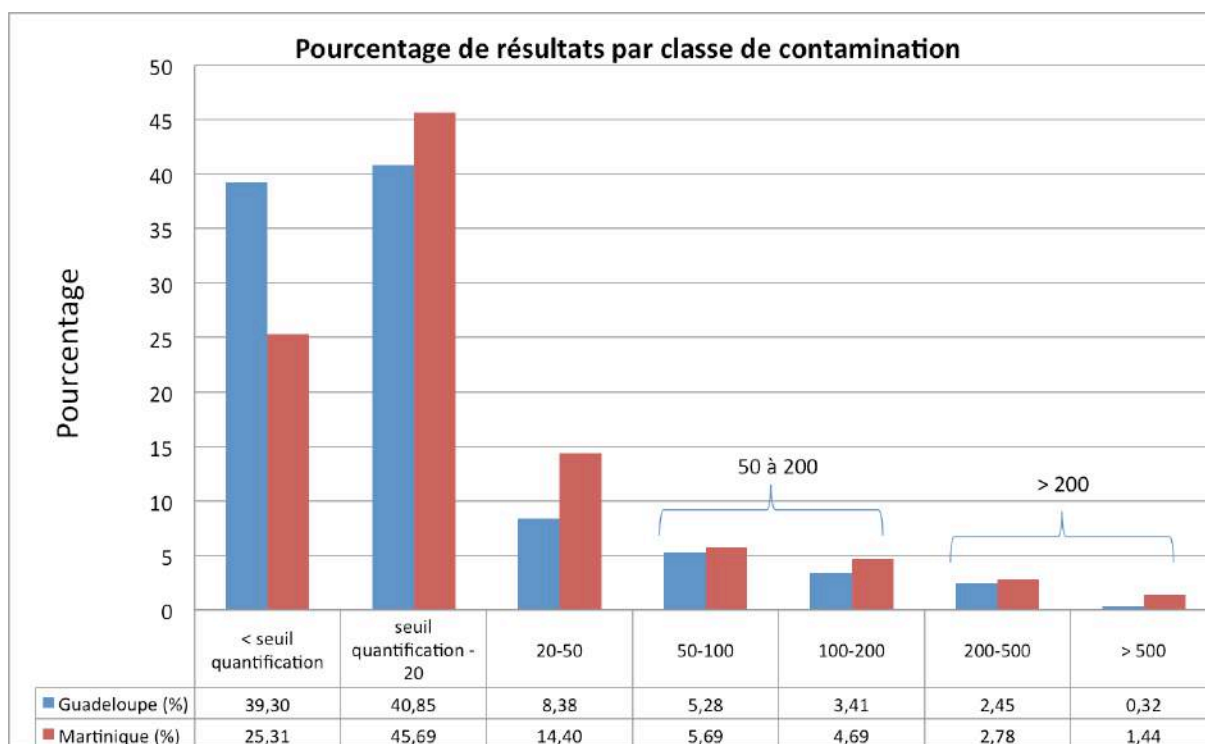


Figure II.5 : Fréquence des valeurs de contamination en fonction des différentes classes de contamination.

Au total, 25 % des résultats présentent des concentrations supérieures au seuil sanitaire fixé à $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Les très fortes concentrations supérieures à $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ($\times 10$ fois le seuil sanitaire) représentent 3,6 % des échantillons analysés.

Il est important de préciser que ces résultats sont étroitement dépendants des plans d'échantillonnage, parfois ciblés sur les espèces à risque (langouste notamment). Ils ne sont donc pas représentatifs de la qualité des produits de la pêche mis en vente.

Sur les cartes suivantes, les quatre dernières classes ont été regroupées en deux classes : 50 à $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et $> 200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figures II.6 et II.7).

- Représentation globale de la contamination en Guadeloupe

La carte suivante présente la contamination moyenne par unité statistique de 1 km^2 (Figure II.6). Ce mode de représentation permet de prendre en compte l'ensemble des résultats au sein des carrés statistiques et d'offrir une bonne image de la contamination moyenne de la faune halieutique en Guadeloupe.

Cette carte met en évidence un fort contraste entre les eaux entourant la Basse-Terre d'une part et l'ensemble des autres masses d'eau d'autre part. Les valeurs les plus élevées sont localisées essentiellement face au sud de la Basse-Terre (zones maritimes G01, G02 et G03), en bordure du Grand Cul-de-Sac Marin (zone G05) et dans les échantillons très côtiers de la pointe nord de Basse-Terre (zone G04).

Ce choix de présentation a des limites car le nombre d'échantillons par unité statistique n'est pas homogène et de très fortes contaminations isolées peuvent avoir un poids important sur le résultat moyen.

Nous présentons en annexe un autre mode de représentation avec la localisation de l'ensemble des prélèvements ainsi que leurs concentrations en chlordécone (Annexe 1).

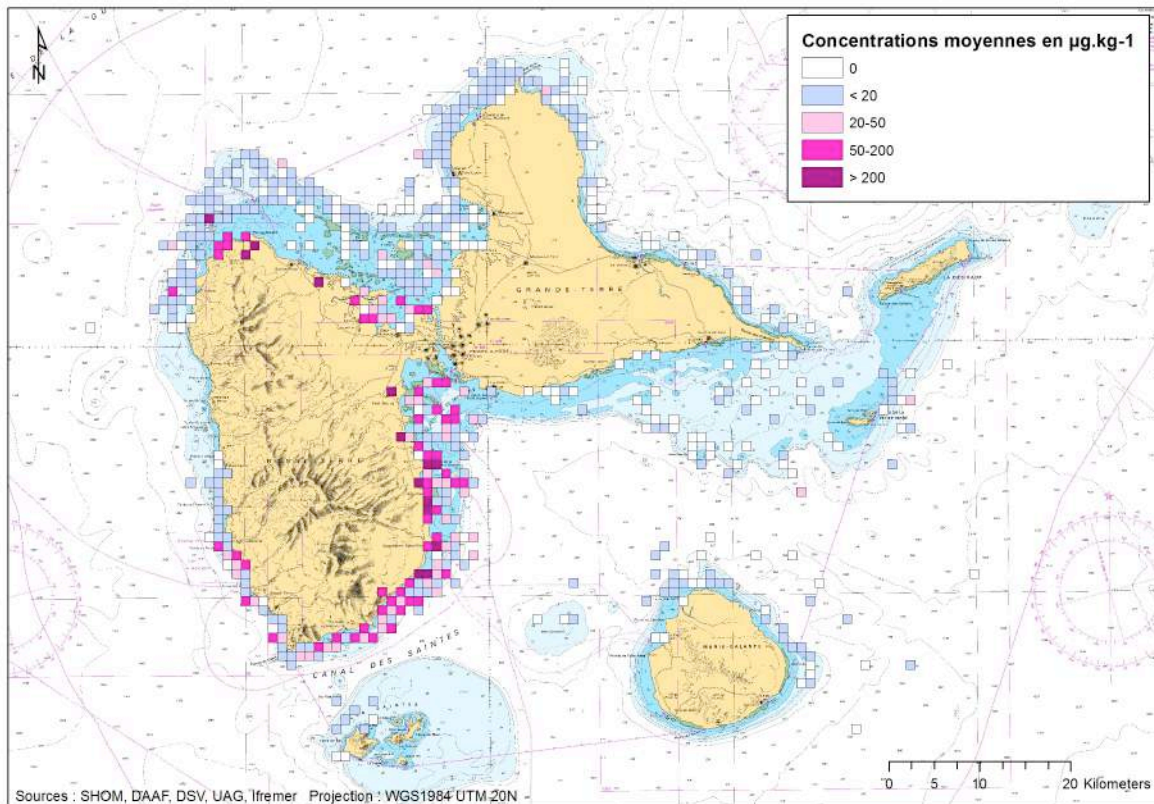


Figure II.6 : contamination moyenne au sein de carrés statistiques de 1 km² en Guadeloupe.

- Représentation globale de la contamination en Martinique

Les zones contaminées sont représentées schématiquement par les deux grandes zones géographiques de la côte atlantique et la baie de Fort de France et, dans une moindre mesure, par les deux petites zones localisées à l'embouchure de la Rivière Pilote (baie de Ste Luce) et la baie de Saint-Pierre. Certaines contaminations sont assez éloignées de la côte, notamment sur le plateau dans la zone M03 (Figure II.7).

Nous présentons également en annexe un autre mode de représentation avec la localisation de l'ensemble des prélèvements ainsi que leurs concentrations en chlordécone (Annexe 2).

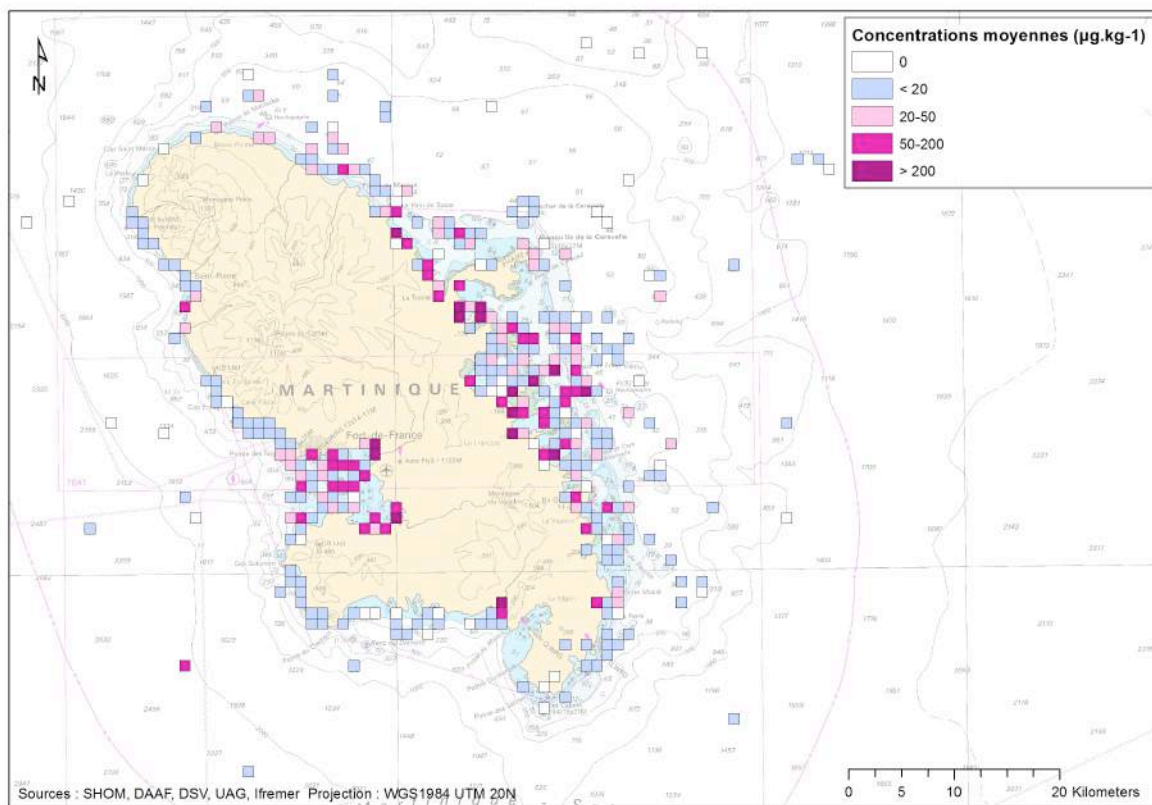


Figure II.7 : contaminations moyennes au sein de carrés statistiques de 1 km^2

Cette première section du chapitre a mis en évidence une zonation très importante de la contamination de la faune marine par la chl-décone en Guadeloupe et en Martinique. Les traitements suivants portent sur l'étude des différences observées entre les espèces, notamment dans les zones les plus sensibles à la contamination.

II.2.2. Présentation des résultats par groupe trophique

Des résultats sont disponibles pour 159 espèces marines. Ces espèces ont été classées en 14 groupes trophiques. La liste des espèces par groupe trophique est disponible en annexe 3. Le classement est basé sur le mode alimentaire et le groupe taxonomique (crustacés, poissons etc...).

La figure II.8 présente la distribution de la contamination au sein de chaque groupe trophique. L'espace interquartile (les boîtes entre 1^{er} et 3^{ème} quartile) représente 50 % des valeurs.

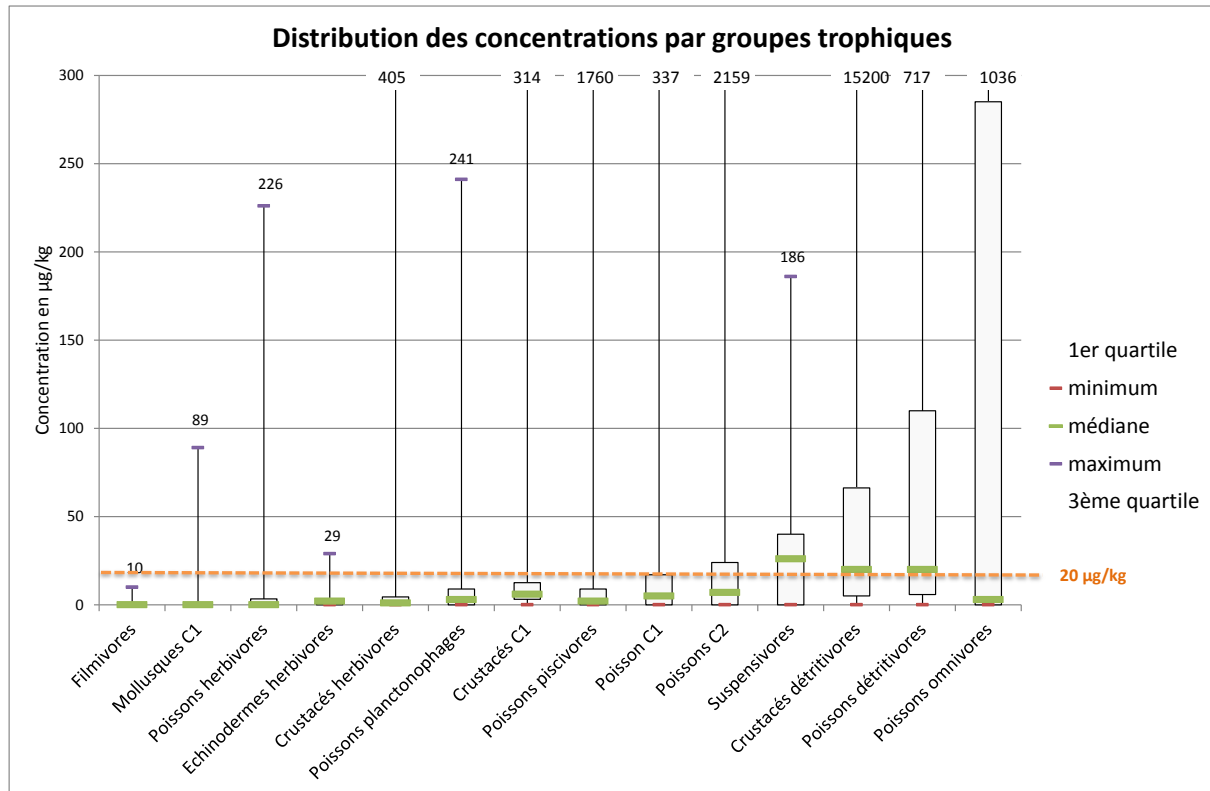


Figure II.8 : distribution de la contamination au sein de chaque groupe trophique.

De façon générale, on observe des valeurs maximales souvent très largement supérieures aux valeurs du 3^{ème} quartile (valeurs atteintes par 75 % des échantillons). Ces valeurs extrêmes, souvent isolées, ne sont pas « représentatives » et conduisent à utiliser avec prudence les valeurs moyennes. Cette figure met en évidence de grandes différences dans la distribution des contaminations entre les groupes.

Les consommateurs primaires (filmivores, invertébrés herbivores, poissons herbivores, suspensivores) sont peu contaminés, à l'exception des suspensivores. Pour ce dernier groupe, 50 % des résultats sont supérieurs à $26 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Ces résultats sont dus à la très forte occurrence d'échantillons contaminés du bivalve *Codakia orbicularis* pêchés dans la baie du Petit Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe qui représentent deux tiers des échantillons de ce groupe.

Les organismes carnivores de premier ordre (mollusques C1, crustacés C1, poissons C1) sont peu à moyennement contaminés, 75 % des valeurs sont inférieures au seuil sanitaire de $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$.

Les poissons carnivores de deuxième ordre apparaissent légèrement plus contaminés. La valeur médiane est plus élevée et 25 % des échantillons présentent une concentration supérieure à $24 \mu\text{g.kg}^{-1}$.

Les organismes détritivores et omnivores (crustacés et poissons) apparaissent nettement plus contaminés que les autres groupes. Le groupe des poissons omnivores présente une distribution atypique. La valeur médiane est faible mais la valeur du 3^{ème} quartile est très élevée ($285 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Cette distribution s'explique par la présence dans ce groupe de deux espèces très différentes : une première, non contaminée (*Hemiramphus brasiliensis*), et une deuxième vivant en eau douce et saumâtre, dont tous les échantillons sont très contaminés (le Tilapia, *Oreochromis mossambicus*).

Les poissons strictement piscivores, pourtant en bout de la chaîne trophique, sont globalement moins contaminés que les poissons C2. Leurs niveaux de contamination sont étroitement dépendants de leur localisation (Figure II.9).

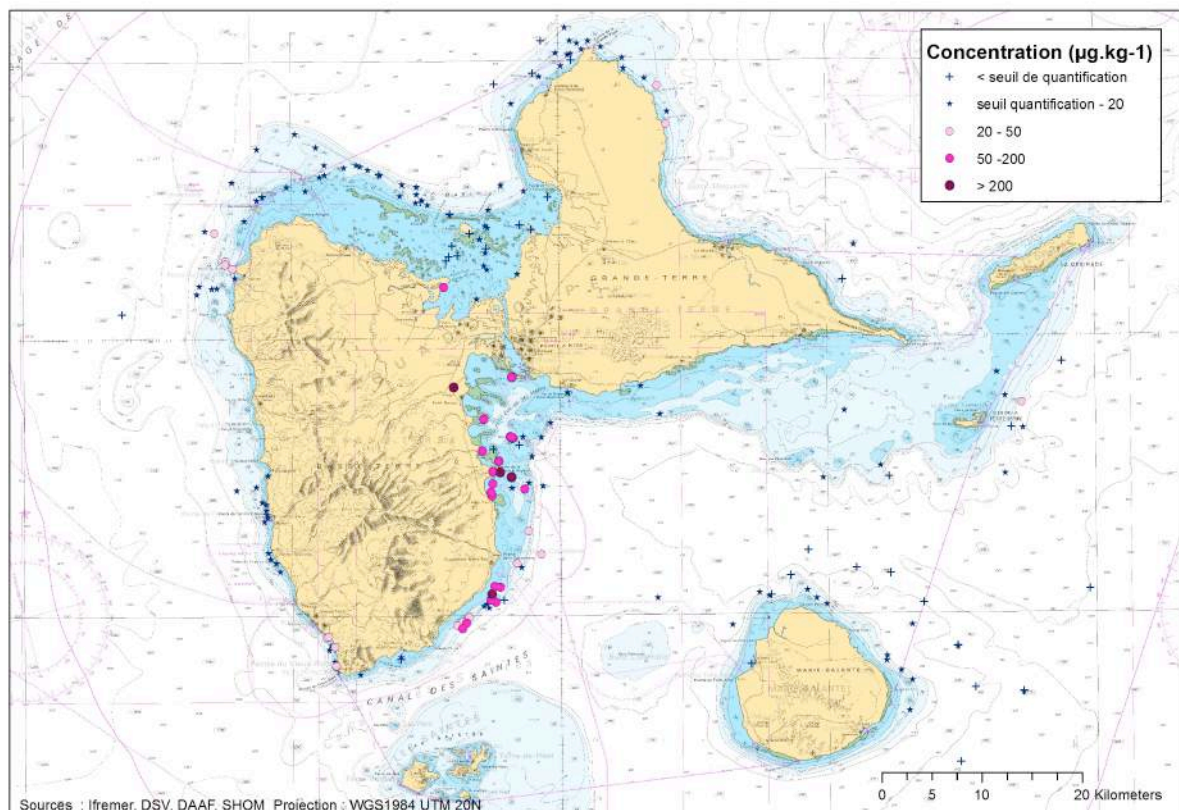


Figure II.9 : niveaux de contamination des poissons piscivores en Guadeloupe

Les échantillons contaminés se retrouvent essentiellement sur la zone contaminée de basse terre. L'effet « zonage » est manifeste sur le poisson lion (*Pterois volitans*) dont les échantillons contaminés sont tous localisés dans la zone impactée de Basse Terre (Figure II.10).

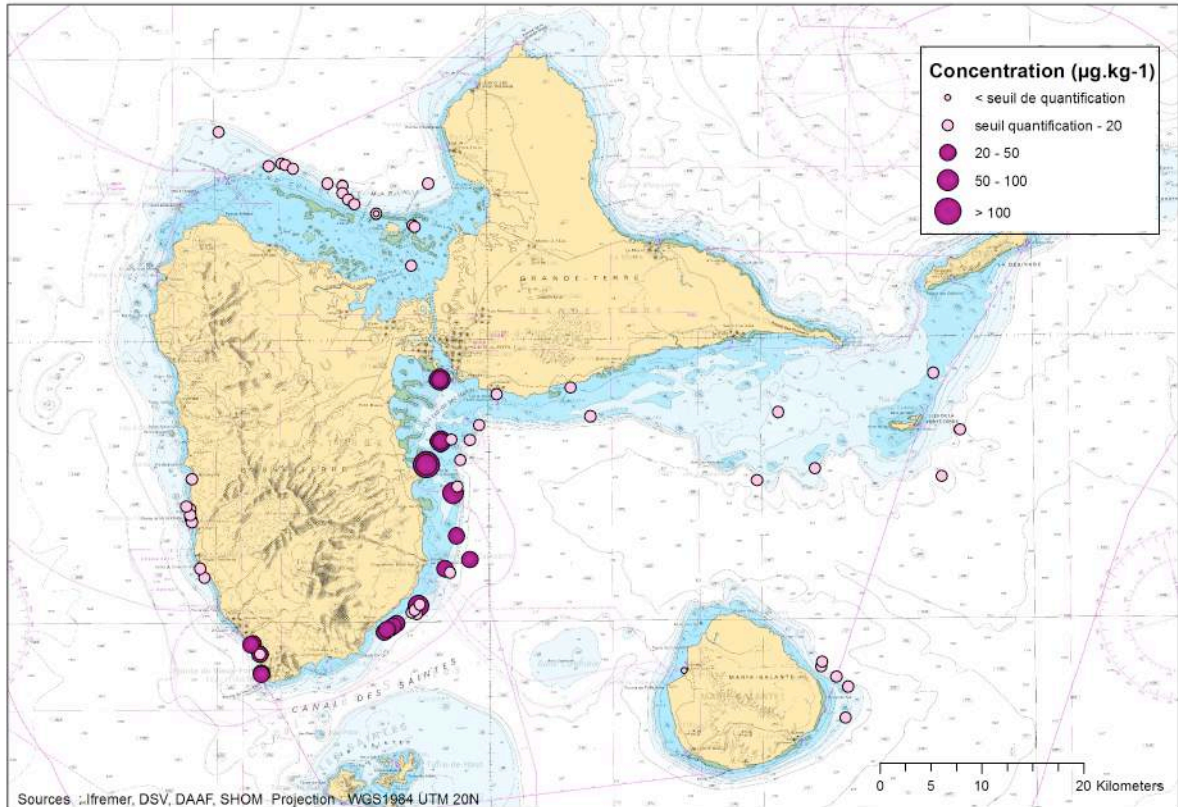


Figure II.10 : contamination du poisson lion, *Pterois volitans*, en Guadeloupe

Le tableau suivant synthétise les contaminations moyennes au sein de chaque groupe trophique par zone maritime (Tableau II.2).

Tableau II.2 : contaminations moyennes par groupe trophique et par zone maritime.

| | G02 | G01 | G04 | G03 | G05 | G06 | G08 | G10 | G09 | G07 | G11 | M07 | M01 | M02 | M03 | M05 | M08 | M06 | M09 | M04 | M10 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Poissons omnivores | 287 | 501 | 238 | 0 | 0 | 79 | 2 | | | | 2 | 535 | 156 | 2.2 | | | 36 | | 3.7 | 2 | |
| Poissons détrivores | 439 | 211 | 276 | 2 | 22 | 0 | | | | | | 113 | | 33 | | 65 | 11 | 157 | 11 | | |
| Crustacés détrivores | 98 | 35 | 33 | 52 | 49 | 6 | 1 | 3 | 2 | 6 | | 289 | 67 | 181 | 59 | 264 | 18 | 3 | 15 | 17 | 18 |
| Poissons piscivores | 101 | 70 | 10 | 14 | 11 | 4 | 11 | 2 | 5.7 | 3 | | 28 | 87 | 74 | 23 | 19 | 5 | 7.3 | 10 | 19 | 7 |
| Poissons C2 | 64 | 43 | 33 | 19 | 6 | 5 | 1 | 8 | 6.2 | 1 | | 57 | 55 | 65 | 23 | 5 | 45 | 37 | 16 | 2 | 0 |
| Poissons C1 | 39 | 28 | 5 | 17 | 7 | 4 | 7 | 4 | 5 | 2 | | 36 | 37 | 30 | 15 | 1 | 72 | 9 | 10 | 2 | 1 |
| Poissons planctonophages | 102 | | 7 | 1.7 | 1 | 3 | 3 | | 5 | 0 | 1 | 9 | 79 | 57 | 7.5 | 0 | 9.4 | 0.3 | 2 | 3 | 3.5 |
| Suspensivores | | 35 | | | | | | | 0 | | | 31 | | 2 | | | | | | | 0 |
| Crustacés C1 | | 3 | | | | | | | | 3 | | 7.8 | | 23 | 13 | | | | 5.9 | 5.5 | |
| Crustacés herbivores | 22 | 1 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | | 17 | 6.3 | 17 | 2.2 | 0 | | 13 | | 1 | |
| Mollusques C1 | 45 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | 41 | | | | | | | | | |
| Poissons herbivores | 25 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 5 | 0 | 0 | | 15 | 9 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0.7 | 1 | 1 | |
| Brouleurs herbivores | 6 | | 0 | | | 0 | | | | | | 2 | 0 | 0 | 3 | | 29 | 0 | 3.3 | 0 | |
| Filnivores | 2 | | | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | | | | | 0 | | | | | | 0 |

Cette représentation met nettement en évidence les groupes trophiques les plus à risque : poissons omnivores, poissons et crustacés détritivores et à un degré moindre les poissons piscivores et poissons C2. Ce tableau met également en évidence les très fortes différences entre les zones géographiques. En Guadeloupe, les zones G02, G01 et G04 apparaissent nettement à risque pour les groupes les plus sensibles. Les niveaux moyens de contamination sont très élevés. En Martinique, les mêmes groupes trophiques se distinguent par des concentrations moyennes élevées mais le découpage géographique est moins net.

La contamination semble plus localisée en Guadeloupe (moins de zones impactées mais

concentrations moyennes fortes), plus diffuse en Martinique (plus de zones touchées avec des niveaux moyens de contamination).

Ces deux approches mettent en évidence des différences de contamination entre les groupes trophiques. Ces différences sont liées au mode alimentaire (les détritivores sont particulièrement sensibles à la contamination) d'où un lien très fort avec la localisation géographique.

Un des objectifs de l'étude Chlohal était de compléter les connaissances sur la contamination des espèces. Le plan d'échantillonnage a été construit de manière à obtenir un nombre suffisant d'échantillons, répartis sur des zones à niveaux de risque différents, pour les espèces les plus sensibles (espèces sensibles à la contamination ou/et espèces à fort intérêt commercial). Ces résultats sont analysés dans le chapitre suivant.

II.2.3. Analyse de la contamination par espèce

Pour cette analyse, nous avons intégré d'autres résultats obtenus dans le plan de contrôle de la DAAF. Les échantillons récoltés sur les étals ne permettaient pas de disposer des coordonnées géographiques précises du lieu de pêche mais la zone maritime d'origine a quand même pu être référencée. On dispose ainsi d'un jeu de données élargi de 4345 résultats.

Les résultats sont disponibles pour 176 espèces, mais l'effort d'échantillonnage est très inégal. Malgré les résultats obtenus dans le cadre du projet Chlohal, certaines espèces sont représentées que par très peu d'échantillons. Nous avons donc retenu pour ce traitement les 74 espèces qui présentent plus de 15 individus. Cette sélection permet d'étudier la contamination de la majorité des espèces d'intérêt commercial.

Les trois graphiques suivants présentent les concentrations moyennes des espèces retenues par niveaux décroissants de contamination. Nous avons retenu dans les graphiques les noms scientifiques des espèces (une table en annexe 3 permet de faire le lien avec les noms vernaculaires).

Ces trois graphiques mettent en évidence des écarts types très importants qui résultent de la très grande variabilité des résultats, liée principalement aux différentes zones de pêche échantillonnées (Figures II.11, II.12 et II.13). Les concentrations moyennes sont donc à utiliser avec prudence et doivent systématiquement être accompagnées par l'observation de l'écart type qui leur est associé.

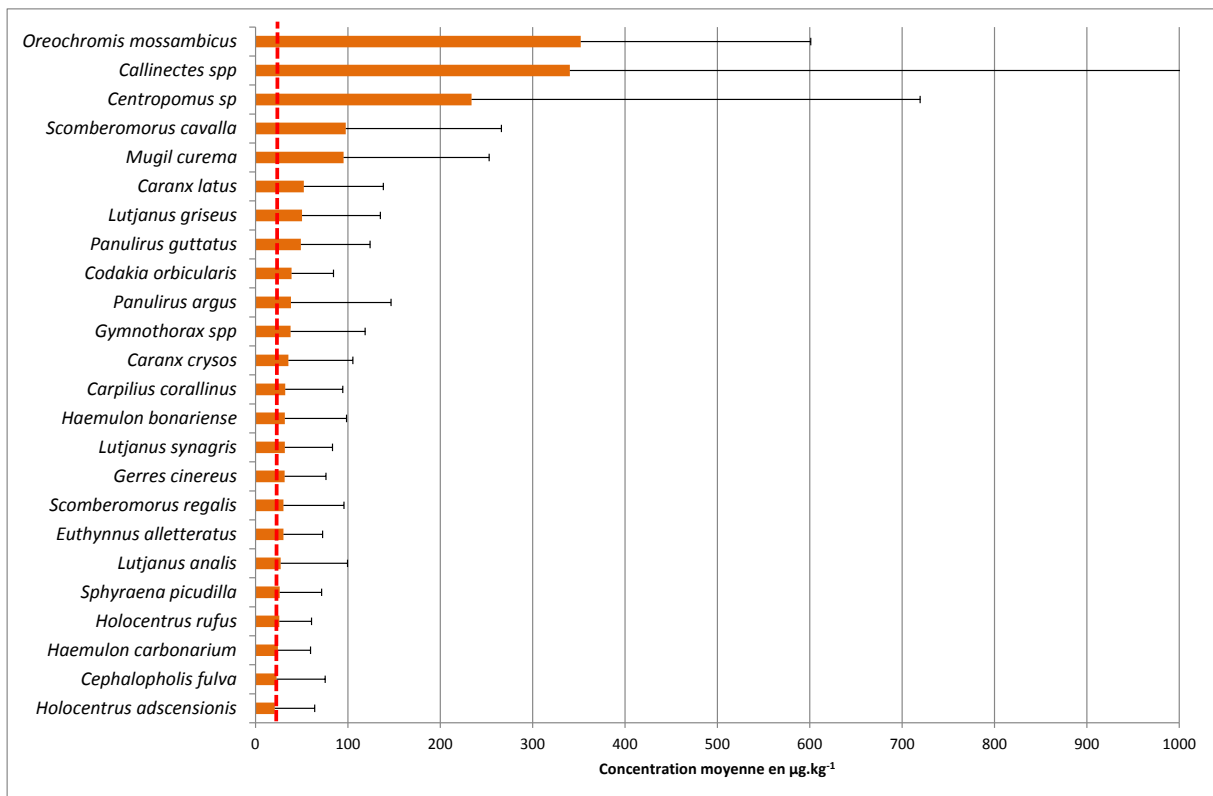


Figure II.11 : concentrations moyennes (avec écart-type) des espèces les plus contaminées

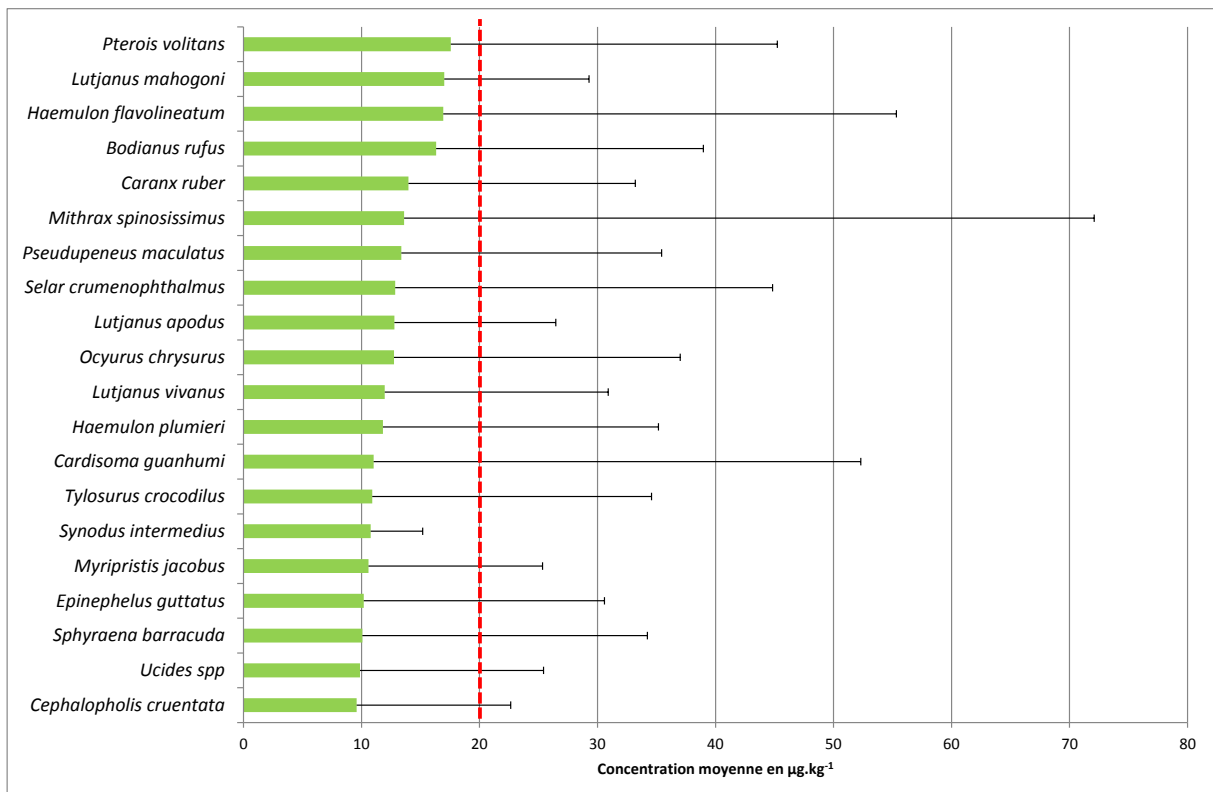


Figure II.12 : concentrations moyennes (avec écart-type) des espèces moyennement contaminées

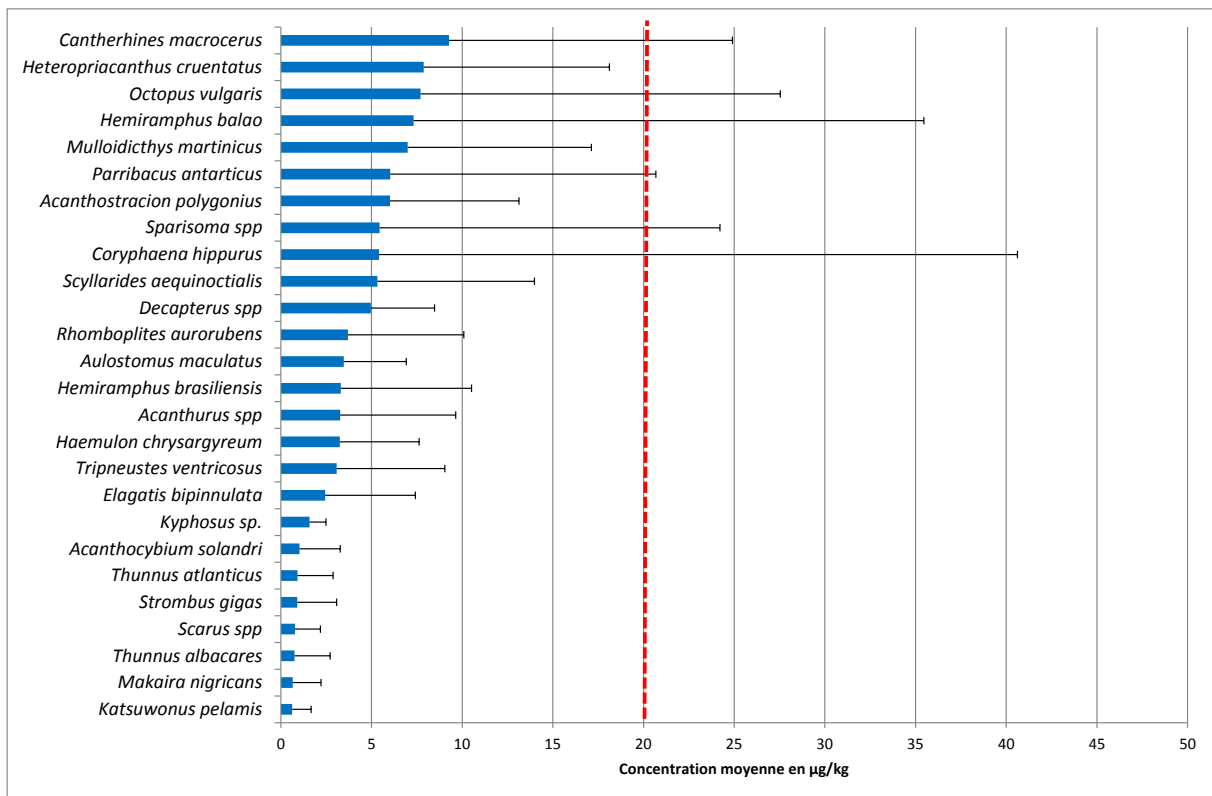
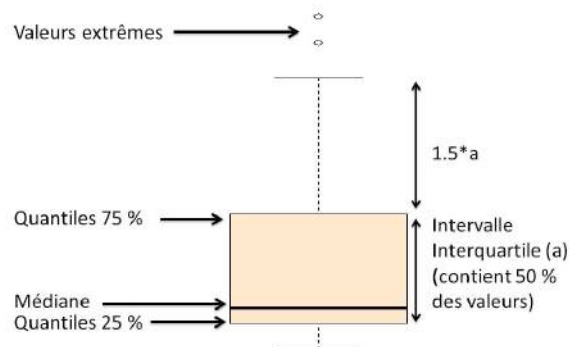


Figure II.13 : contaminations moyennes (avec écart-type) des espèces les moins contaminées

Ces graphiques mettent en évidence des écarts types très importants qui illustrent la grande variabilité des résultats, liée principalement à la zone de pêche. Les valeurs moyennes ont l'avantage d'être simple d'utilisation et d'être comprises de tous. Cette valeur statistique permet dans un premier temps de comparer les espèces entre elles mais elles ne sont pas suffisantes pour bien caractériser la contamination de chaque espèce. Pour y parvenir nous avons représenté la distribution des résultats, pour chaque espèce, sous la forme de « boîtes à moustaches ».

Les « boîtes à moustaches » permettent de représenter une distribution de valeurs sous une forme simplifiée avec la médiane (trait épais), une boîte s'étendant du quartile 0,25 au quartile 0,75, et des moustaches qui s'étendent ici jusqu'à la valeur distante d'au maximum 1,5 fois la distance interquartile.



- Espèces contaminées : moyennes supérieures à 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$

Poissons détritviores

Le tilapia (*Oreochromis mossambicus*) et le mullet blanc (*Mugil curema*) sont parmi les espèces les plus fortement contaminées. L'échantillonnage du « tilapia » n'est pas optimal avec uniquement 22 prélèvements dont seulement 3 en zones du groupe 1 mais la répartition des concentrations montre bien le risque que représente cette espèce dans toutes les zones (Figure II.14).

Pour le mullet blanc, la répartition par groupe de zones classées selon leur risque de contamination (1, 2 et 3), met en évidence des contaminations très significatives dans les zones classées moyennement contaminées (Figure II.15). Cette espèce présente donc un risque fort, même dans les zones classées moyennement contaminées.

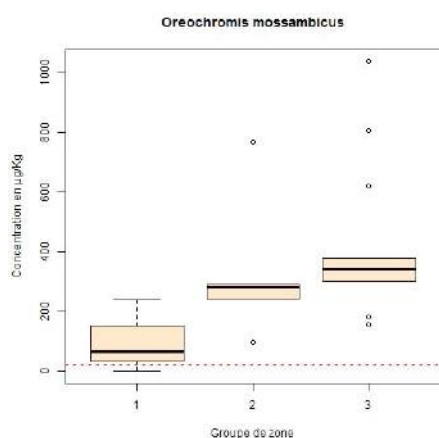


Figure II.14 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le tilapia, *Oreochromis mossambicus*.

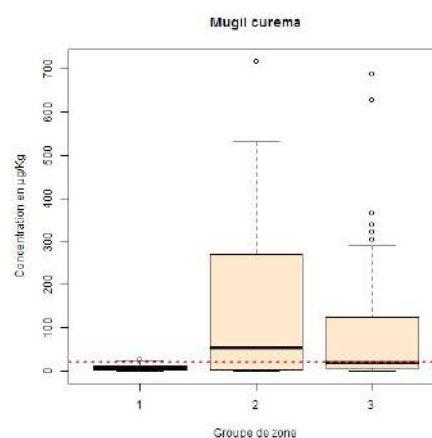


Figure II.15 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le mullet blanc, *Mugil curema*

Les crustacés détritviores et carnivores.

Les crustacés détritviores sont parmi les espèces les plus contaminées. Les crabes ciriques (*Callinectes spp*), présentent les concentrations les plus fortes avec notamment une concentration record de 15 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (non représentée sur la figure II.16).

La langouste brésilienne (*Panulirus guttatus*) et la langouste blanche (*Panulirus argus*) sont également fortement contaminées. Il faut noter que les niveaux de contamination en zone du groupe 2 sont très fréquemment supérieurs au seuil sanitaire, notamment pour la « langouste brésilienne » avec de fortes contaminations supérieures à 100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figure II.17). Pour la « langouste blanche », les contaminations élevées se retrouvent aussi bien en zones 2 qu'en zones 3 (Figure II.18).

Le crabe moro (*Carpilius corallinus*) est relativement moins contaminé, puisque la quasi-totalité des échantillons présente des valeurs inférieures à 50 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Trois prélèvements réalisés dans les zones du groupe 2 et 3 montrent que cette espèce peut être fortement contaminée (Figure II.19).

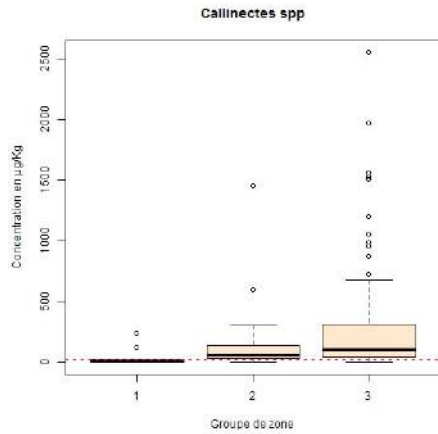


Figure II.16 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les crabes cirique, *Callinectes sp.* La forte concentration de 15 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a été exclue du graphique.

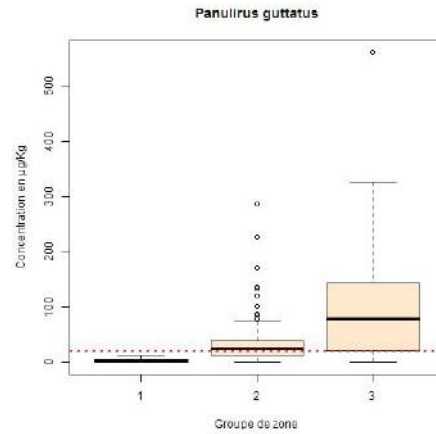


Figure II.17 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la langouste brésilienne, *Panulirus guttatus*.

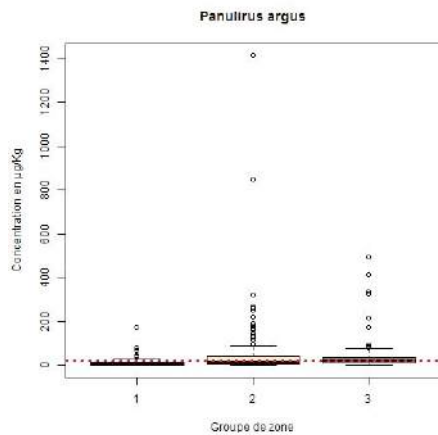


Figure II.18 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la langouste blanche, *Panulirus argus*.

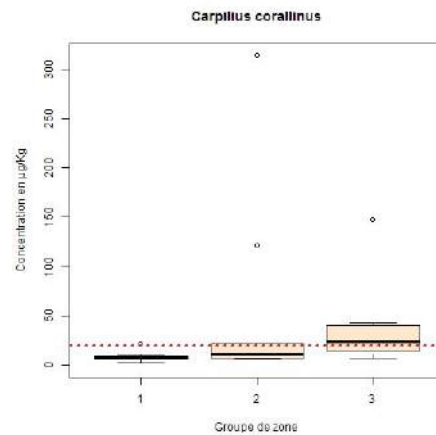


Figure II.19: distribution des concentrations par groupe de zones pour le crabe moro, *Carpilius corallinus*.

Les poissons piscivores

Six espèces de poissons piscivores se retrouvent dans ce groupe. Le thazard barré (*Scomberomorus cavalla*) et le thazard franc (*Scomberomorus regalis*) apparaissent parmi les plus contaminés. La répartition des résultats montre que les individus contaminés sont principalement issus des zones du groupe 3 (Figures II.20 et II.21). Les carangues gros-yeux (*Caranx latus*) présentent une distribution identique (Figure II.22).

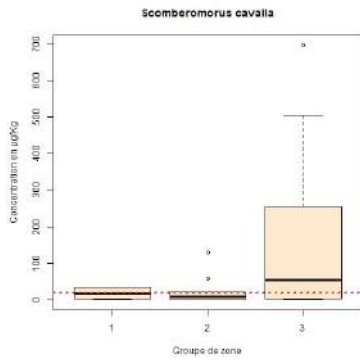


Figure II.20 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le thazard barré, *Scomberomorus cavalla*.

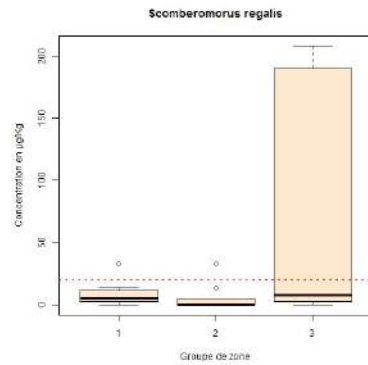


Figure II.21 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le thazard franc, *Scomberomorus regalis*.

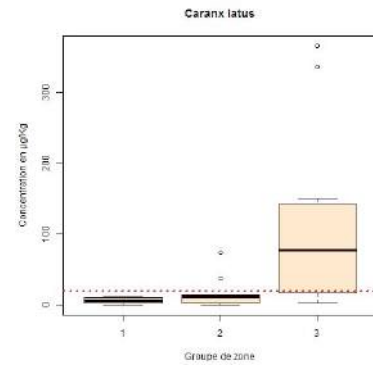


Figure II.22 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la carangue gros-yeux, *Caranx latus*

Les trois dernières espèces de poissons piscivores sont la thonine commune (*Euthynnus alleteratus*), les murènes (*Gymnothorax spp*) et la bécune dorée (*Sphyaena picudilla*) (Figures II.23, II.24 et II.25).

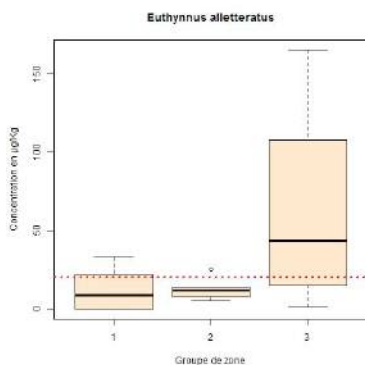


Figure II.23 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la thonine commune, *Euthynnus alleteratus*.

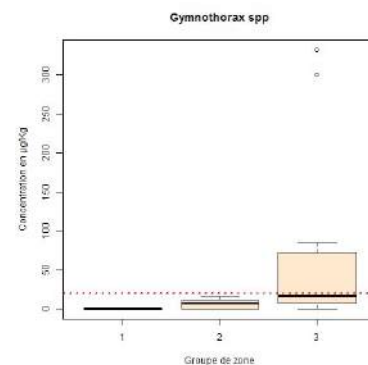


Figure II.24 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les murènes, *Gymnothorax spp*.

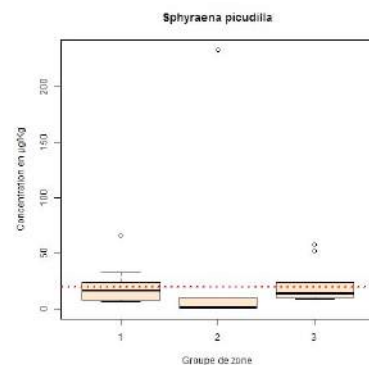


Figure II.25 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la bécune dorée, *Sphyaena picudilla*.

La thonine commune et les murènes sont contaminées essentiellement en zone 3. Deux murènes pêchées dans la zone contaminée G02 en Guadeloupe se sont révélées particulièrement contaminées ($> 300 \mu\text{g.kg}^{-1}$). La distribution des contaminations pour la « bécune dorée » est atypique avec des niveaux de concentration équivalents en zones 1 et 3 (Fig. II.25). L'analyse des résultats montre que tous ceux enregistrés dans les zones du groupe 1 proviennent de l'échantillonnage réalisé pour le projet Chlohal dans la zone M09, en Martinique. La concentration élevée, supérieure à $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$, a été observée dans la zone M03 en Martinique, zone proche de la zone contaminée M02. Les bécunes se déplacent beaucoup et peuvent donc se contaminer lors de raids alimentaires en zone polluée.

Les poissons carnivores de deuxième ordre (C2)

Six espèces de poisson carnivore de deuxième ordre se retrouvent dans ce groupe. L'espèce la plus contaminée est le brochet de mer (*Centropomus sp.*). Toutefois le nombre d'échantillon pour cette espèce est relativement faible (19) et mal réparti (pas de résultat dans les zones du groupe 1) (Figure II.26). Un individu très fortement contaminé ($2\,159 \mu\text{g.kg}^{-1}$) a

été pêché dans le cadre du projet Chlohal au sein de la zone M03 en Martinique, à 5 km au large de la commune du François.

Les individus contaminés de l'espèce « carangue coubali » (*Caranx crysos*) se retrouvent très majoritairement dans les zones du groupe 3 (Figure II.27). Les deux contaminations élevées proviennent des zones M01 et M02 en Martinique.

La distribution des concentrations pour l'espèce « ouatalibi » (*Cephalopholis fulva*) est identique, majoritairement en zones contaminées, avec toutefois une concentration élevée en zones 2, dans la zone G03 en Guadeloupe (Figure II.28). Cet individu a été pêché à proximité de la zone G02 à la pointe sud de Basse-Terre.

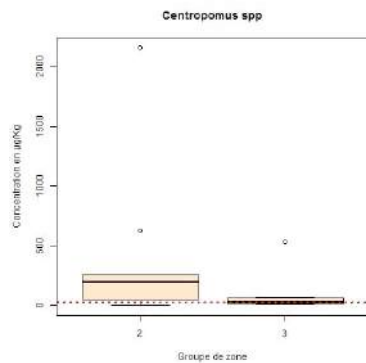


Figure II.26 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le brochet, *Centropomus sp*

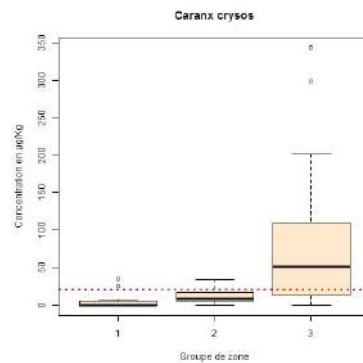


Figure II.27 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la carangue coubali, *Caranx crysos*.

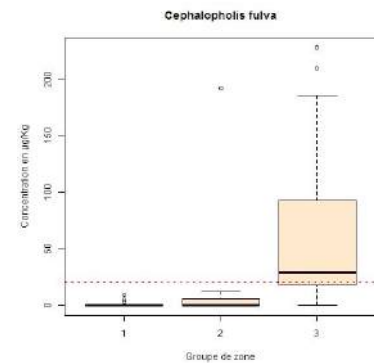


Figure II.28 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le ouatalibi, *Cephalopholis fulva*.

Le vivaneau sardé grise (*Lutjanus griseus*) présente des niveaux de contaminations significatifs dans les zones du groupe 1. Il s'agit d'échantillons prélevés dans le cadre du projet Chlohal dans les zones M08 et M09 en Martinique. La concentration supérieure à 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a été observée dans la zone M09. La distribution des autres « vivaneaux » est plus homogène (Figures II.29, II.30 et II.31).

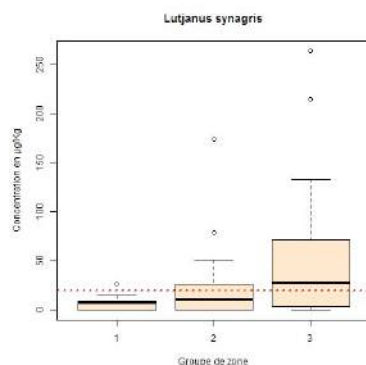


Figure II.29 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau gazou, *Lutjanus synagris*.

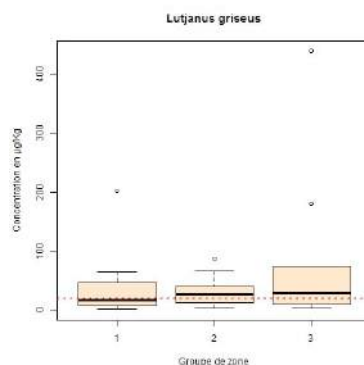


Figure II.30 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau sardé grise, *Lutjanus griseus*.

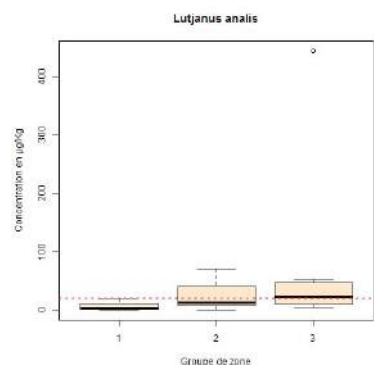


Figure II.31 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le page vivaneau, *Lutjanus analis*.

☑ Les poissons carnivores de premier ordre (C1)

Cinq poissons carnivores de premier ordre présentent des concentrations moyennes supérieures $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Il s'agit de la gorette grise (*Haemulon bonariense*), de la blanche cendrée (*Gerres cinereus*), du marigan soldat (*Holocentrus rufus*) et du marigan coq (*Holocentrus adscensionis*), et enfin de la gorette charbonnière (*Haemulon carbonarium*). La répartition des contaminations pour la gorette grise est atypique avec des contaminations homogènes à l'intérieur des 3 groupes à l'exception de deux très fortes valeurs enregistrées en zones 2 et 3 (Figure II.32). Les légères contaminations observées en zone 1 proviennent de la zone M09 en Martinique sur la commune du Prêcheur.

Pour la blanche cendrée, *Gerres cinereus*, les échantillons contaminés sont principalement situés en zone 3 mais on observe également quelques individus plus fortement contaminés dans la zone 2, plus précisément dans les zones M03 et M06 en Martinique (Figure II.33).

Les concentrations des marigan soldat sont bien réparties avec la possibilité également pour cette espèce de trouver des individus contaminés dans les zones du groupe 2 (Figure II.34).

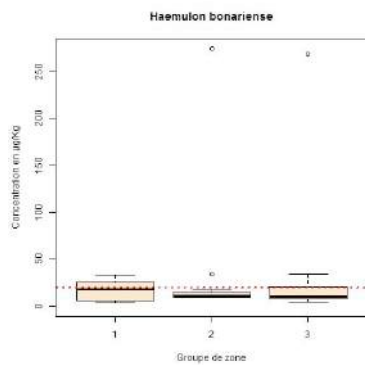


Figure II.32 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la gorette grise, *Haemulon bonariense*.

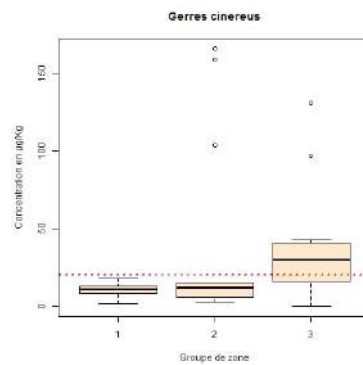


Figure II.33 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la blanche cendrée, *Gerres cinereus*

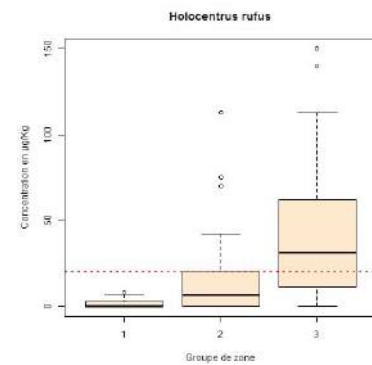


Figure II.34 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le marigan soldat, *Holocentrus rufus*

La distribution des concentrations pour la gorette charbonnière, *Haemulon carbonarium*, met en évidence des niveaux relativement élevés en zones 1 (Figure II.35). Il s'agit de résultats obtenus dans le cadre du projet Chlohal sur les zones M08 et M09 en Martinique. Les contaminations sur le marigan coq, *Holocentrus adscensionis*, sont observées principalement en zone 3 (Figure II.36).

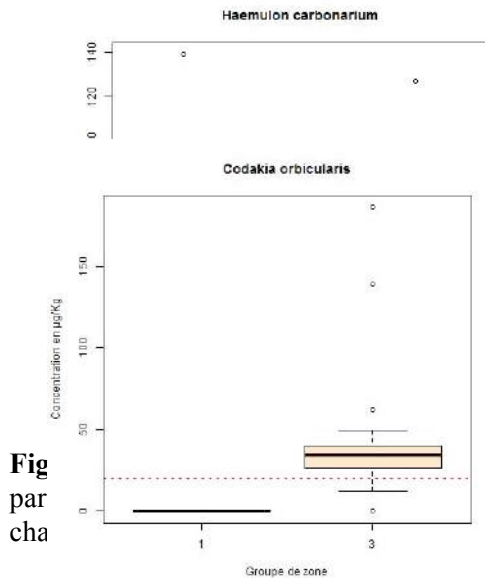


Fig
par
cha

Figure II.37 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la palourde blanche, *Codakia orbicularis*.

La palourde blanche (*Codakia orbicularis*) est la seule espèce de filtreur dans ce groupe des espèces contaminées. L'échantillonnage est peu représentatif, l'essentiel des individus ayant été pêchés dans la baie Petit Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe (Figure II.37). Quelques résultats sont également disponibles également sur les deux espèces d'huîtres, *Crassostrea rhizophorae* (l'huître de palétuvier) et *Isognomon alatus* (Tableau II.3). Ces quelques résultats démontrent que les mollusques suspensivores situés dans un environnement défavorable peuvent présenter des concentrations supérieures au seuil sanitaire de 20 µg.kg-1.

itions
orette

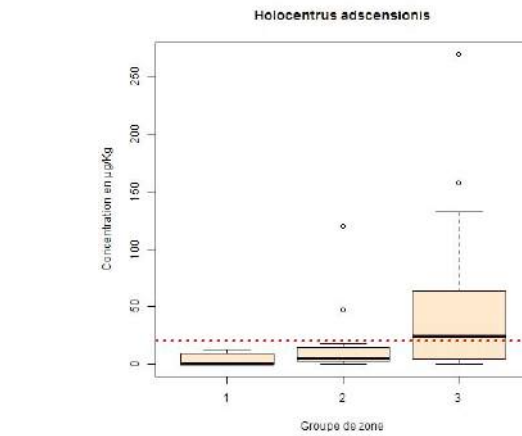


Figure II.36 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le marignan coq, *Holocentrus adscensionis*.

Tableau II.3 : concentrations mesurées sur les huîtres *Crassostrea rhizophorae* et *Isognomon alatus*

| Espèces | Zones | Groupe de zones | Concentrations en chlordécone ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) |
|--------------------------------|-------|-----------------|---|
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | G01 | 3 | 0 |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | G01 | 3 | 0 |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | G02 | 3 | 0 |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | M07 | 3 | 47 |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | M07 | 3 | 54 |
| <i>Isognomon alatus</i> | M02 | 3 | 2 |
| <i>Isognomon alatus</i> | M02 | 3 | 2 |
| <i>Isognomon alatus</i> | M07 | 3 | 12 |
| <i>Isognomon alatus</i> | M07 | 3 | 12 |

- Espèces moyennement contaminées : concentrations moyennes entre 10 et 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$

Poissons piscivores

Quatre espèces de poissons piscivores se retrouvent dans ce groupe. Le poisson lion (*Pterois volitans*) dont les échantillons contaminés sont obtenus principalement dans les zones du groupe 3 (Figure II.38). La deuxième espèce, l'orpie (*Tylosurus crocodilus*) est plus faiblement contaminée. On note une valeur très élevée en zone à risque (Figure II.39). La troisième espèce est le barracuda (*Sphyraena barracuda*) dont les individus contaminés sont très majoritairement en zone 3 (Figure II.40). La dernière espèce piscivore est l'anoli (*Synodus intermedius*). Elle se distingue des trois autres par des concentrations très homogènes et une absence de contamination supérieure au seuil sanitaire, même dans les zones à risque (Figure II.41).

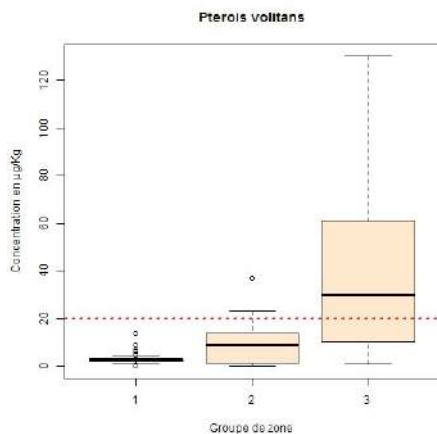


Figure II.38 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le poisson lion, *Pterois volitans*.

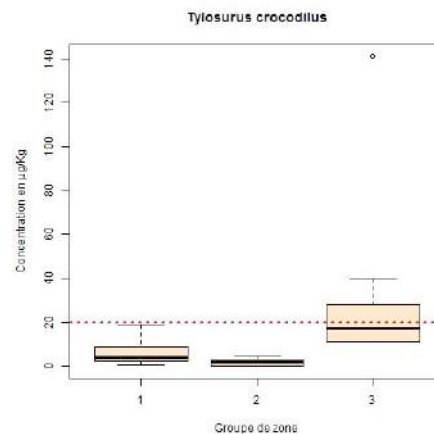


Figure II.39 : distribution des concentrations par groupe de zones pour l'orpie, *Tylosurus crocodilus*.

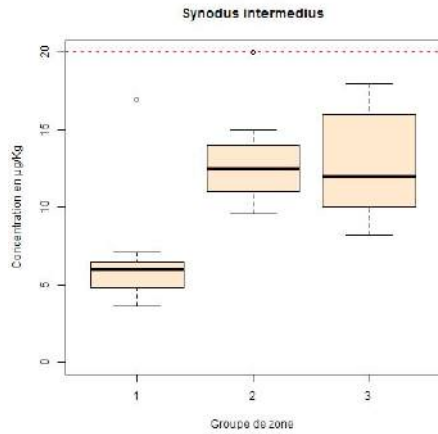


Figure II.40 : distribution des concentrations par groupe de zones pour l'anoli, *Synodus intermedius*

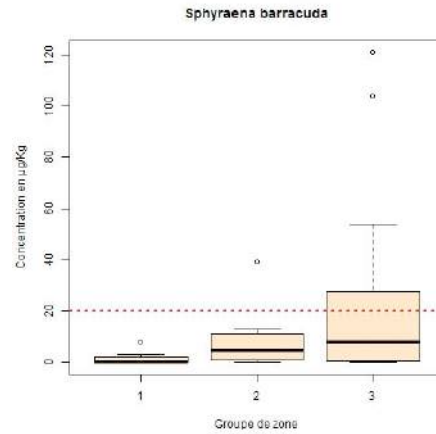


Figure II.41 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le barracuda, *Sphyaena barracuda*.

Poissons carnivores de deuxième ordre (C2)

Il s'agit ici de cinq espèces dont trois vivaneaux : le vivaneau mahogany (*Lutjanus mahogoni*), le vivaneau dent de chien (*Lutjanus apodus*) et le vivaneau soie (*Lutjanus vivanus*). Les échantillons contaminés se retrouvent en zones à risque et dans les zones moyennement contaminées, voir dans les zones du groupe 1 (*Lutjanus mahogoni*) (Figures II.42, II.43 et II.44).

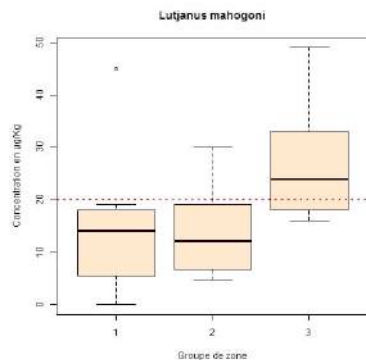


Figure II.42 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau mahogoni, *Lutjanus mahogoni*

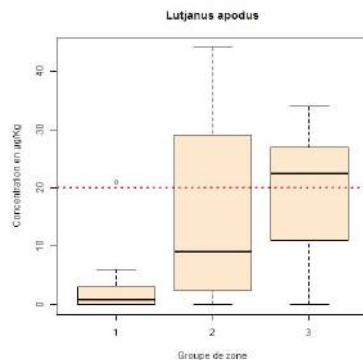


Figure II.43 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau dent de chien, *Lutjanus apodus*

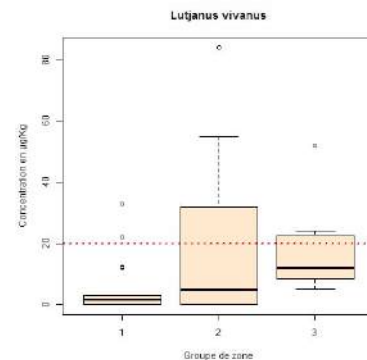


Figure II.44 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau soie, *Lutjanus vivanus*

Pour le mérou couronné (*Epinephelus guttatus*). Les individus contaminés sont majoritairement en zone 3, avec toutefois deux individus contaminés pêchés en zones 1, plus précisément en zone G10 en Guadeloupe (Figure II.45). La dernière espèce de poisson C2 est le ouatalibi (*Cephalopholis cruentata*) dont l'échantillonnage est limité (22 individus) avec seulement deux en zone 3 (Figure II.46).

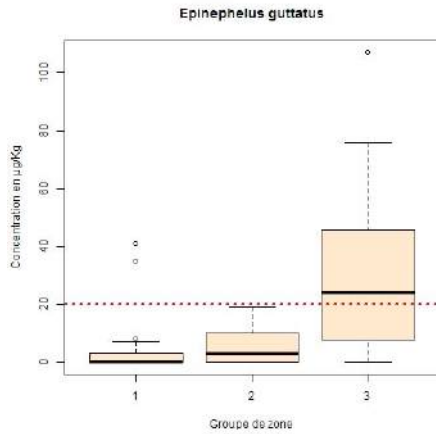


Figure II.45 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le mérrou couronné, *Epinephelus guttatus*

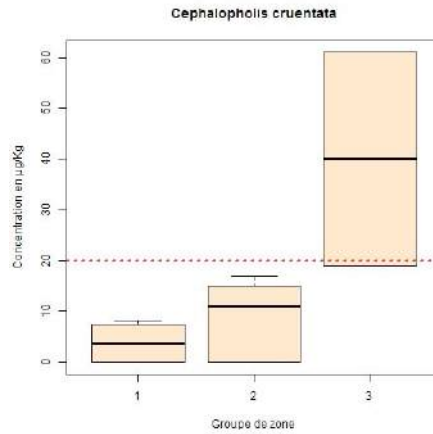


Figure II.46 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le ouatalibi, *Cephalopholis cruentata*

Poissons carnivores de premier ordre (C1)

Cinq espèces de poissons carnivores de premier ordre sont présents dans ce groupe des espèces moyennement contaminées : la gorette jaune (*Haemulon flavolineatum*), le capitaine caye (*Bodianus rufus*), le barbarin rouge (*Pseudupeneus maculatus*), le sarde queue jaune (*Ocyurus chrysurus*) et la gorette blanche (*Haemulon plumieri*) (Figures II.47 à II.51).

La gorette jaune (*Haemulon flavolineatum*) présente des contaminations élevées en zone du groupe 1. Il s'agit de trois individus échantillonnés dans le cadre du projet Chlohal en octobre 2014 dans la baie de Saint-Pierre en Martinique (zone M08), avec deux concentrations de 47 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et une concentration de 212 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figure II.47). Ces résultats rejoignent ceux enregistrés sur le vivaneau sarde grise (*Lutjanus griseus*).

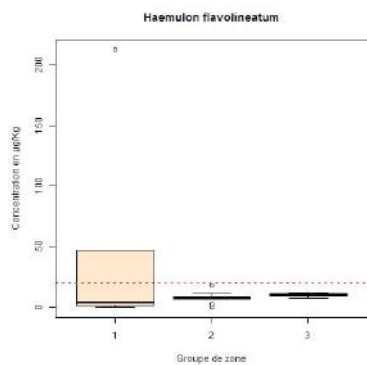


Figure II.47 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la gorette jaune, *Haemulon flavolineatum*

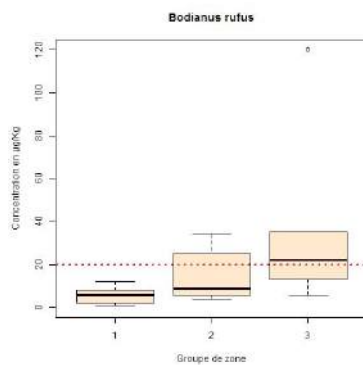


Figure II.48 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le capitaine, *Bodianus rufus*

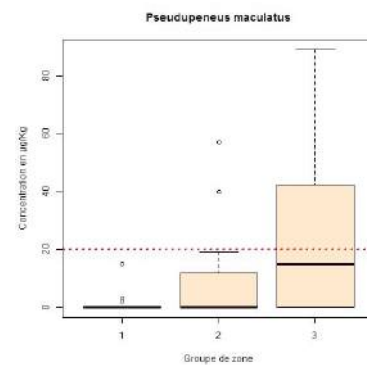


Figure II.49: distribution des concentrations par groupe de zones pour le barbarin rouge, *Pseudupeneus maculatus*

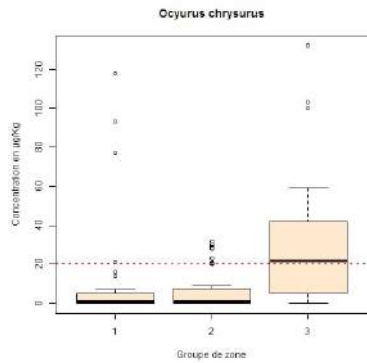


Figure II.50 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la sarde queue jaune, *Ocyurus chrysurus*

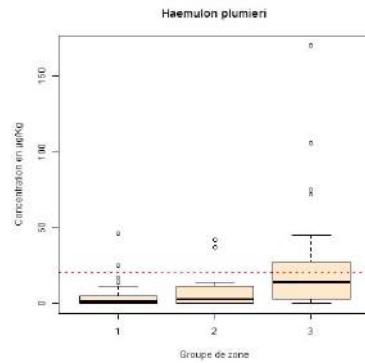


Figure II.51 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la gorette blanche, *Haemulon plumieri*

On note également quelques contaminations élevées en zones peu contaminées pour l'espèce sarde queue jaune (*Ocyurus chrysurus*). Ces individus ont été pêchés loin des sources de contamination dans les zones G09 (77 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), M10 (93 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) et G08 (118 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Ce phénomène peut s'expliquer par la mobilité importante de cette espèce.

Crustacés herbivores

Trois espèces de crabe sont moyennement contaminées. La première est l'araignée de mer (*Mithrax spinosissimus*) qui présente une concentration moyenne de 14 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ avec un écart type très élevé (58 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). L'observation des valeurs de concentration met en évidence une donnée anormalement élevée en zone du groupe 1 (Figure II.52). Il s'agit d'un individu collecté sur un étal et dont la zone de pêche a été déclarée comme située au large de la presqu'île de la Caravelle. Si l'on retire ce résultat des données, la concentration moyenne de cette espèce est de 5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et la nouvelle distribution des concentrations met en évidence un risque de contamination limité aux zones contaminées (Figure II.53).

La deuxième est le crabe de terre (*Cardisoma guanhuni*). Cette espèce est globalement peu contaminée mais quelques individus pêchés dans les zones à risque, principalement M02 et M01, peuvent présenter de fortes contaminations (Figure II.54).

La dernière espèce est le crabe mantou (*Ucides cordatus*) dont quelques individus présentent des concentrations supérieures au seuil sanitaire dans les zones à risque (Baie de Fort de France, littoral du François) (Figure II.55).

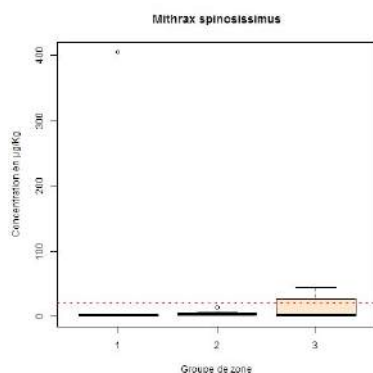


Figure II.52 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le crabe royal, *Mithrax spinosissimus*

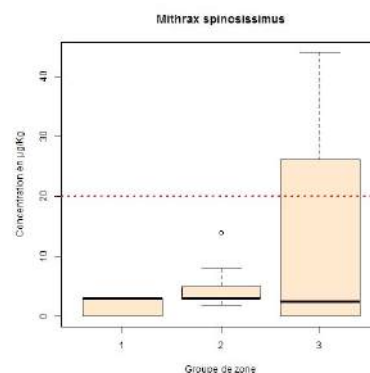


Figure II.53 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le crabe royal, *Mithrax spinosissimus*, avec suppression de la valeur de concentration aberrante

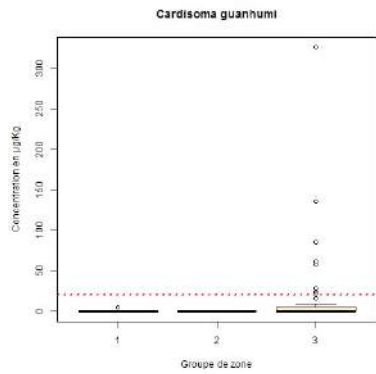


Figure II.54 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le crabe de terre, *Cardisoma guanhumi*

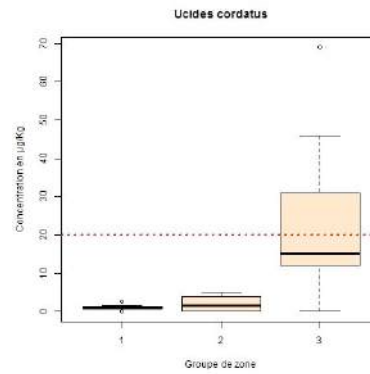


Figure II.55 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le crabe mantou, *Ucides cordatus*

Poissons planctonophages

Deux espèces sont concernées, le selar coulirou (*Selar crumenophthalmus*) et le marignan mombin (*Myripristis jacobus*). La distribution des concentrations met en évidence une contamination localisée dans les zones à risque pour ces deux espèces (Figures II.56 et II.57). La contamination observée dans le groupe 1 a été enregistrée sur un échantillon Chlohal sur la zone M08. Ce résultat confirme le caractère à risque de cette zone maritime.

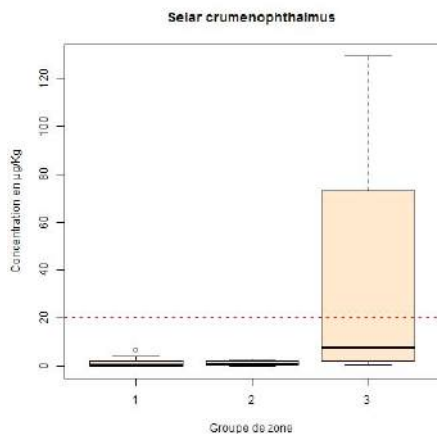


Figure II.56 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le selar coulirou, *Selar crumenophthalmus*

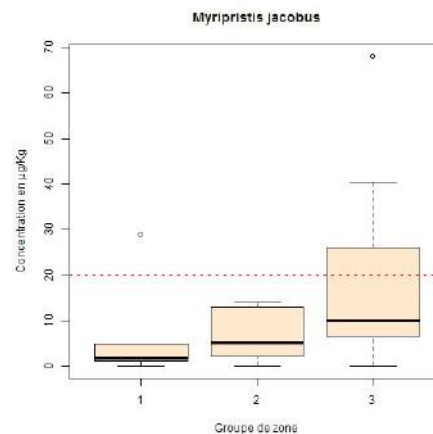


Figure II.57 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le marignan mombin, *Myripristis jacobus*

- Espèces peu contaminées : moyennes inférieures ou égales à 10 µg.kg⁻¹

Poissons piscivores

La dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) est, dans 98 % des cas, très faiblement ou non contaminée (Figure II.58). Tous les prélèvements ont eu lieu en zone 1 au large (zones M10 et G11). Pour ce qui concerne le poisson trompette (*Aulostomus maculatus*), l'échantillonnage est limité à 22 individus dont seulement deux pêchés en zone 3. (Figure II.59). Ces deux échantillons présentent une légère contamination. La comète saumon (*Elagatis bipinnulata*) présente de légères contaminations en zones 3 (Figure II.60).

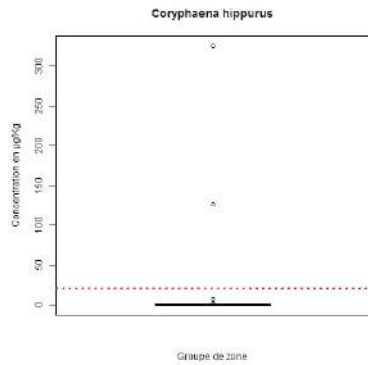


Figure II.58 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la dorade coryphène, *Coryphaena hippurus*

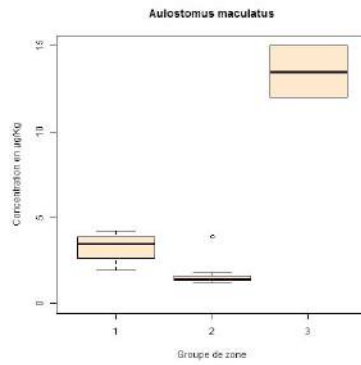


Figure II.59 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le poisson trompette, *Autostomus maculatus*

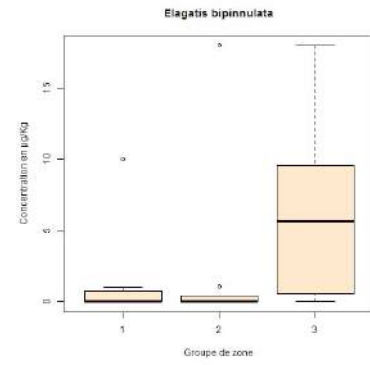


Figure II.60 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la comète saumon, *Elagatis bipinnulata*

Le thazard batard (*Acanthocybium solandri*) a été principalement prélevé en zones 1 (M10 et G10), deux individus seulement en zones 2 (Figure II.61). Quelques individus présentent de légères contaminations. Le thon à nageoires noires (*Thunnus atlanticus*), le thon à nageoires jaunes (*Thunnus albacares*), le makaire (*Makaira nigricans*) et le listao (*Katsuwonus pelamis*) ont également été prélevés uniquement au large. Quelques individus peuvent présenter de très faibles contaminations (Figures II.62, II.63, II.64 et II.65).

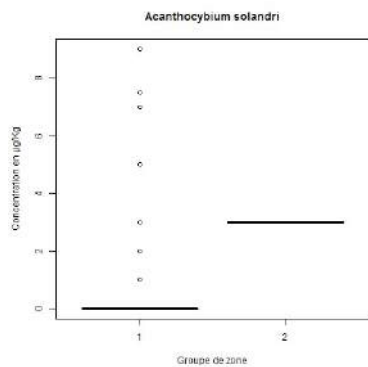


Figure II.61 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le thazard batard, *Acanthocybium solandri*

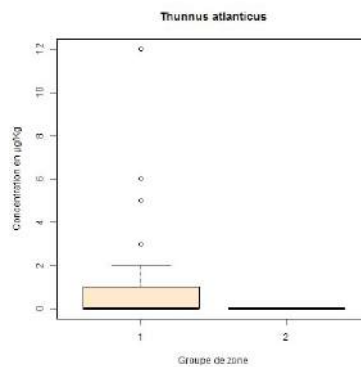


Figure II.62 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le thon à nageoires noires, *Thunnus atlanticus*

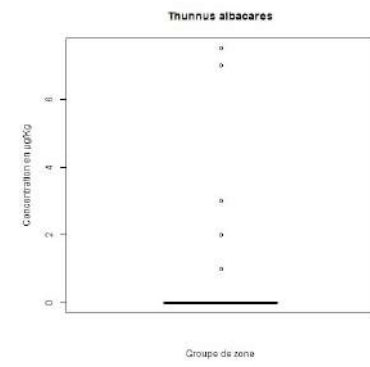


Figure II.63 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la thon à nageoires jaunes, *Thunnus albacares*

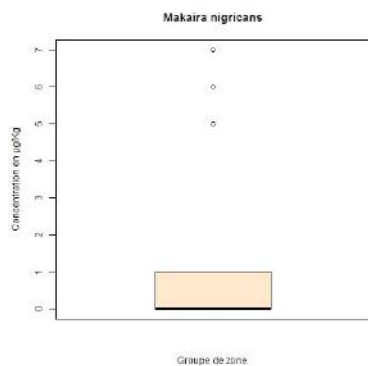


Figure II.64 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le makaire, *Makaira nigricans*

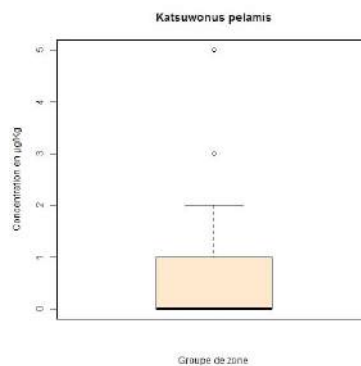


Figure II.65 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le listao, *Katsuwonus pelamis*

Poissons carnivores de deuxième ordre (C2)

Le vivaneau ti-yeux (*Rhomboplites aurorubens*) présente quelques contaminations en zone 3 avec deux concentrations légèrement supérieures au seuil sanitaire (Figure II.66).

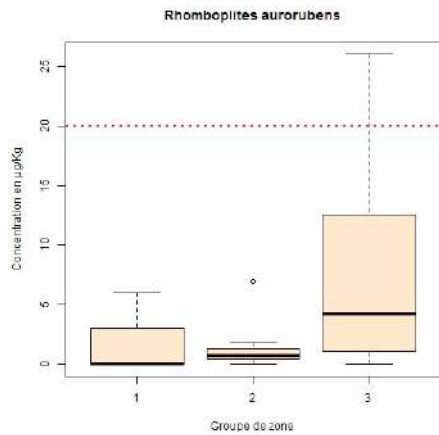


Figure II.66 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le vivaneau ti-yeux, *Rhomboplites aurorubens*

Poissons carnivores de premier ordre (C1)

La bourse cabri (*Cantherines macrocerus*) et la souris blanche (*Mulloidichthys martinicus*) présentent des concentrations supérieures au seuil sanitaire en zones 3 (Figures II.67 et II.68).

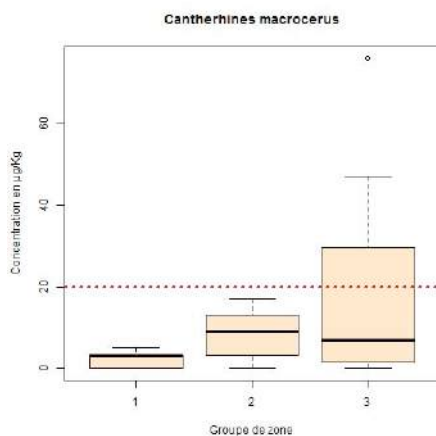


Figure II.67 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le bourse cabri, *Cantherines macrocerus*

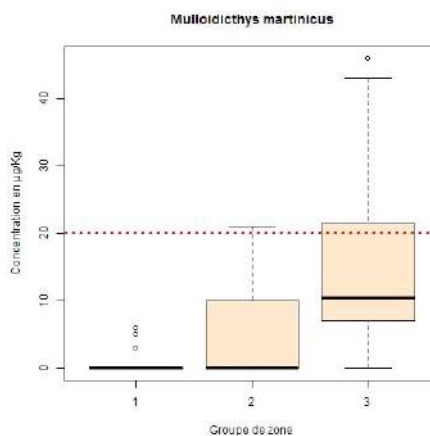


Figure II.68 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la souris blanche, *Mulloidichthys martinicus*

La distribution des concentrations pour le poisson coffre (*Acanthostracion polygonius*) est atypique (Figure II.69). Les individus contaminés se retrouvent principalement dans les zones 1 et 2, notamment au sein des zones M09 et M06. Les individus collectés en zones à risque (7 échantillons en zones M01 et un en M02) ne sont pas (ou très peu) contaminés. La gorette tibouche (*Haemulon chrysargyreum*) présente quelques légères contaminations en zones 3 (Figure II.70).

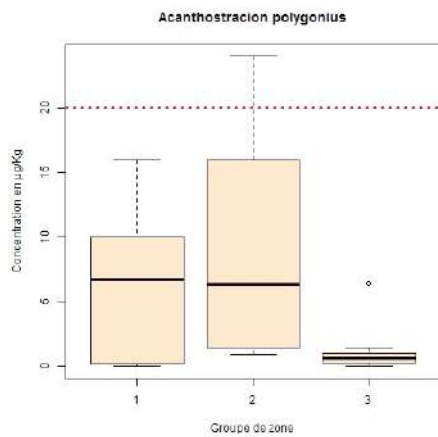


Figure II.69: distribution des concentrations par groupe de zones pour le poisson coffre, *Acanthostracion polygonius*

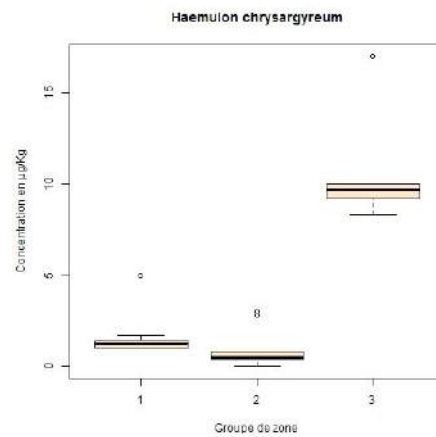


Figure II.70 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la gorette tibouche, *Haemulon chrysargyreum*

Poissons planctonophage

Pour le juif caye (*Heteropriacanthus cruentatus*) la majorité des individus contaminés se retrouvent en zones 3 avec une concentration maximale de 40 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figure II.71). Le demi-bec balaou (*Hemiramphus balao*) est globalement peu contaminé mais une concentration très élevée a été enregistrée sur un individu collecté en zone M02, au fond de la baie du Galion (Figure II.72). Des concentrations significatives, voisines du seuil d’alerte ont également été enregistrées dans la zone M09 en Martinique. La distribution des concentrations pour les comètes (*Decapterus spp.*) met en évidence des contaminations en zones 1 et 2, plus précisément dans les zones M08 et M06 (Figure II.73).

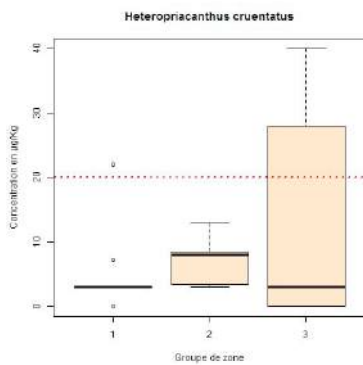


Figure II.71 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le juif caye, *Heteropriacanthus cruentatus*.

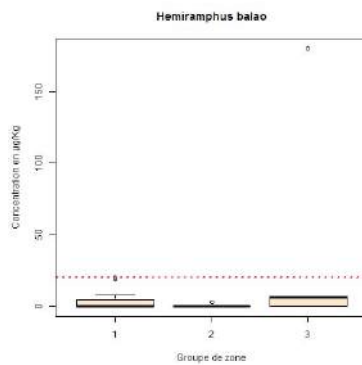


Figure II.72 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le demi-bec balaou, *Hemiramphus balao*.

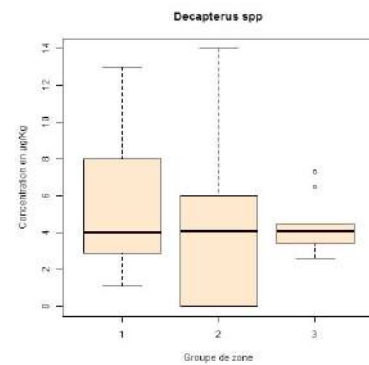


Figure II.73 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les comètes, *Decapterus spp.*

Poissons herbivores

Les poissons perroquets (*Sparisoma spp.*) peuvent être contaminés assez fortement dans les zones à risque (zones 3). Par contre les poissons perroquets du genre *Scarus* sont très faiblement contaminés en zone 3 (Figures II.74 et II.75).

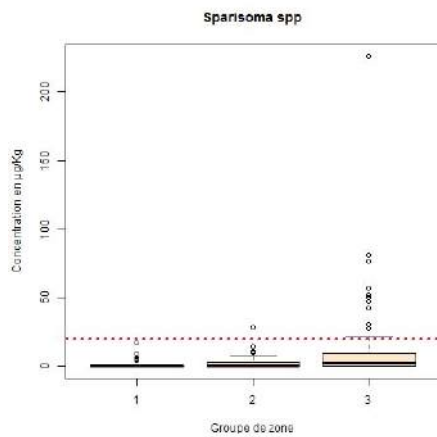


Figure II.74 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les perroquets – *Sparisoma* spp.

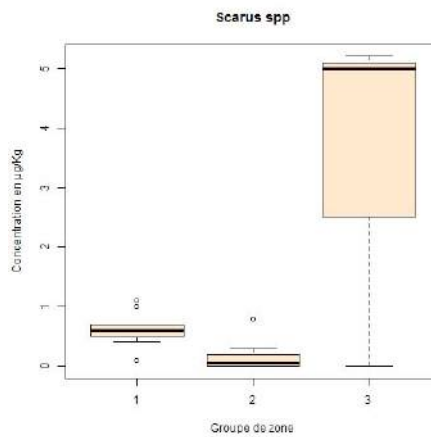


Figure II.75 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les perroquets – *Scarus* spp.

Les poissons chirurgiens (*Acanthurus* spp.) peuvent présenter des concentrations significatives proches ou supérieures au seuil sanitaire dans les zones à risque élevé (zones M01 et G02). Il est difficile d'expliquer la contamination de certains individus collectés en zones 1, notamment deux échantillons en zone G10, sinon par un déplacement depuis une zone contaminée (Figure II.76). Les morpions-sardes grises ou agoutis (*Kyphosus* spp.) sont très faiblement contaminés (Figure II.77).

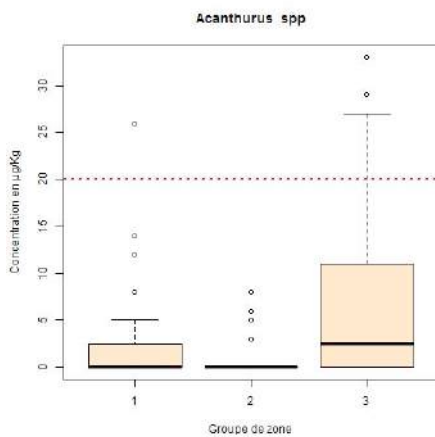


Figure II.76 : distribution des concentrations par groupe de zones pour les poissons chirurgiens, *Acanthurus* spp

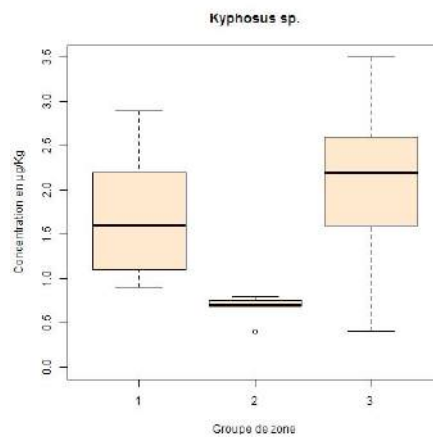


Figure II.77 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le morpion-sarde grise ou agouti, *Kyphosus* spp

Poissons omnivores

Le balaou queue jaune (*Hemiramphus brasiliensis*) est globalement peu contaminé mais la distribution est atypique (Figure II.78). La forte concentration observée en zones 1 provient d'un échantillon réalisé dans le cadre du projet Chlohal sur la zone M08.

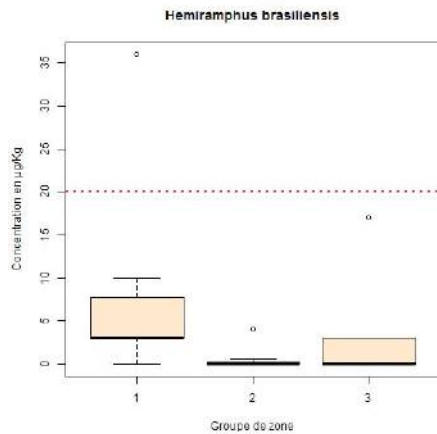


Figure II.78 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le balaou queue jaune, *Hemiramphus brasiliensis*

Mollusques de premier ordre (C1)

Le poulpe (*octopus vulgaris*) est susceptible de se contaminer de manière significative en zones à risque (Figure II.79).

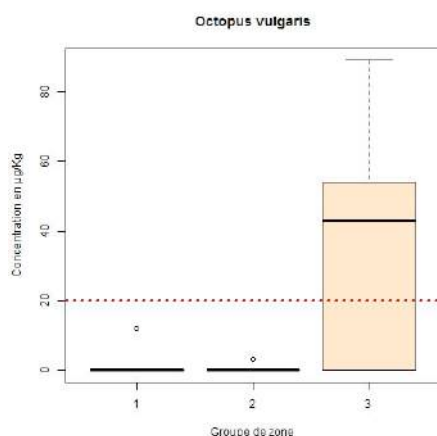


Figure II.79 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le poulpe , *octopus vulgaris*

Crustacés C1 et détritivores

La cigale savate (*Parribacus antarticus*) est globalement peu contaminée (Figure II.80). Une plus forte contamination a été observée sur un échantillon prélevé sur étal et dont l'origine déclarée est « presque île de la Caravelle » à proximité de la zone à risque M02. La cigale marie-carogne (*Scylarides aequinoctialis*) est plus contaminée en zone à risque (Figure II.81).

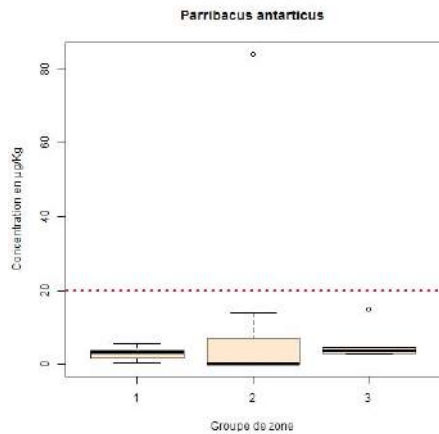


Figure II.80 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la cigale savate, *Parribacus antarcticus*

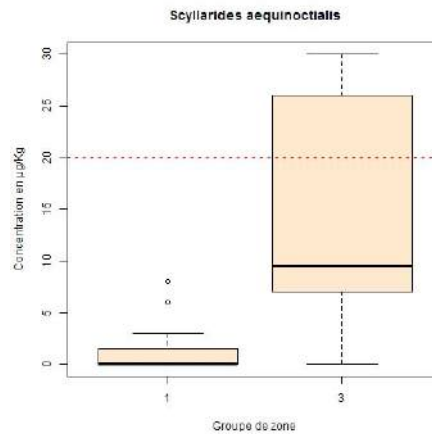


Figure II.81 : distribution des concentrations par groupe de zones pour la cigale marie-carogne, *Scyllarides aequinoctialis*

Les Echinodermes herbivores

Pour l'oursin blanc (*Tripneustes ventricosus*) la valeur la plus forte a été observée en zone M08 en Martinique, sur un échantillon Chlohal (Figure II.82). D'autres contaminations faibles ont été observées dans le cadre de ce projet en zone M09. L'échantillonnage en zone à risque est également faible, avec 5 échantillons.

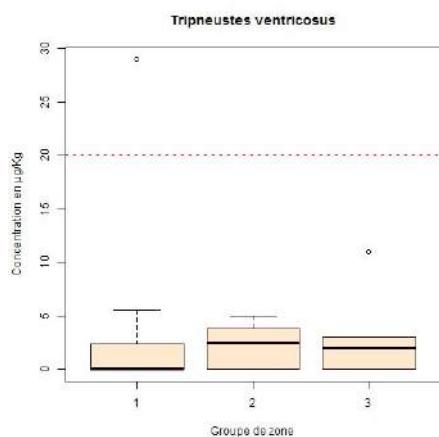


Figure II.82 : distribution des concentrations par groupe de zones pour l'oursin blanc, *Tripneustes ventricosus*.

Mollusques filmivores

Chez le lambi (*Strombus gigas*) le pourcentage d'échantillons contaminés est très faible (4,5 % > 5 µg.kg-1) et essentiellement en zones 3 (Figure II.83).

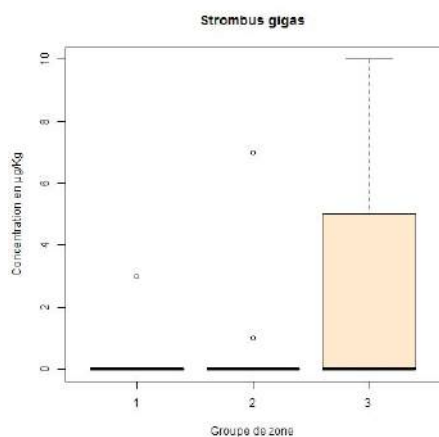


Figure II.83 : distribution des concentrations par groupe de zones pour le lambi, *Strombus gigas*

II.3. Zoom sur les résultats Chlohal et la réglementation de la pêche

L'arrêté du préfectoral N° 2012335-0003 du 30 novembre 2012 en Martinique et l'arrêté N° 2014-012 du 28 février 2014 portant modification de l'arrêté N° 2013-057 du 26 juin 2013 en Guadeloupe réglementent la pêche et la mise sur le marché des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes en lien avec les bassins contaminés par la chlordécone.

L'objectif de ce chapitre est de voir si les résultats dans le cadre du projet Chlohal apportent des éléments supplémentaires susceptibles de faire évoluer cette réglementation.

II.3.1. Cas de la Martinique

En Martinique, sur 644 échantillons analysés, 99 présentent une contamination supérieure au seuil sanitaire suivant une répartition présentée sur la figure II.84.

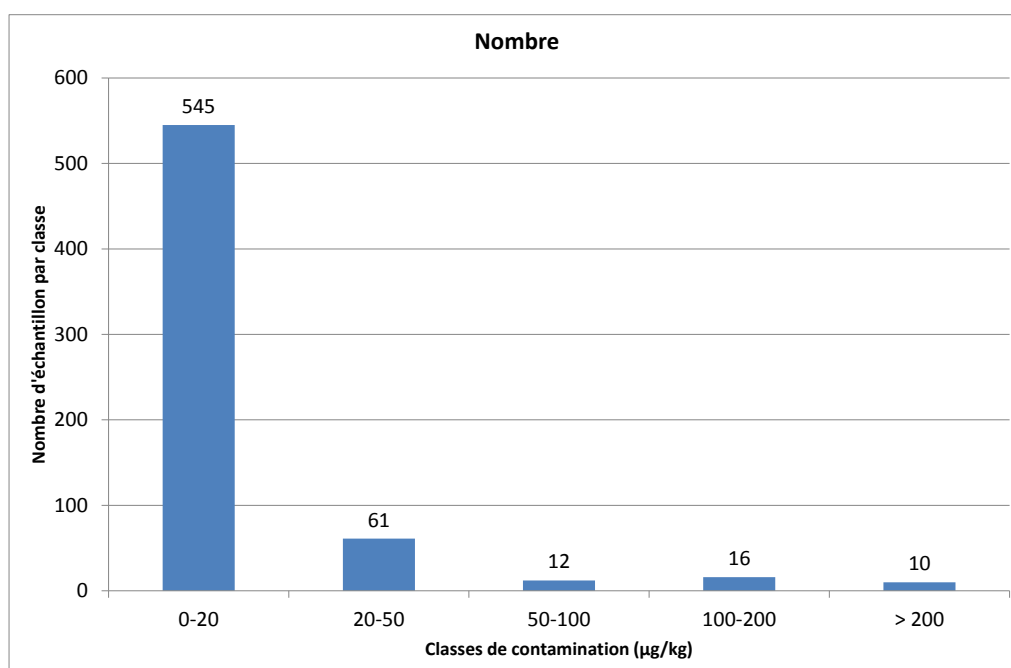


Figure II.84 : répartition des résultats Chlohal par classe de contamination

Sur la figure II.85 sont localisés uniquement les échantillons de l'étude Chlohal ayant un niveau de contamination supérieur au seuil sanitaire. La carte a été complétée avec les résultats historiques présentant ces trois conditions :

- résultats supérieurs au seuil sanitaire ;
- prélèvements localisés en dehors des zones interdites à la pêche (*arrêté du 30 novembre 2012*) ;
- toutes les espèces sauf les langoustes qui répondent à une réglementation différente.

Nous constatons sur la figure II.85 que la centaine d'échantillons contaminés est située dans des zones autorisées à la pêche. Par rapport à la connaissance historique, l'échantillonnage du projet Chlohal confirme la sensibilité à la contamination des zones M02, M03 et M07. Les résultats Chlohal mettent également en évidence des concentrations significatives sur certaines espèces dans des zones jusqu'alors considérées comme faiblement contaminées ou insuffisamment échantillonnées, les zones M08 et M09.

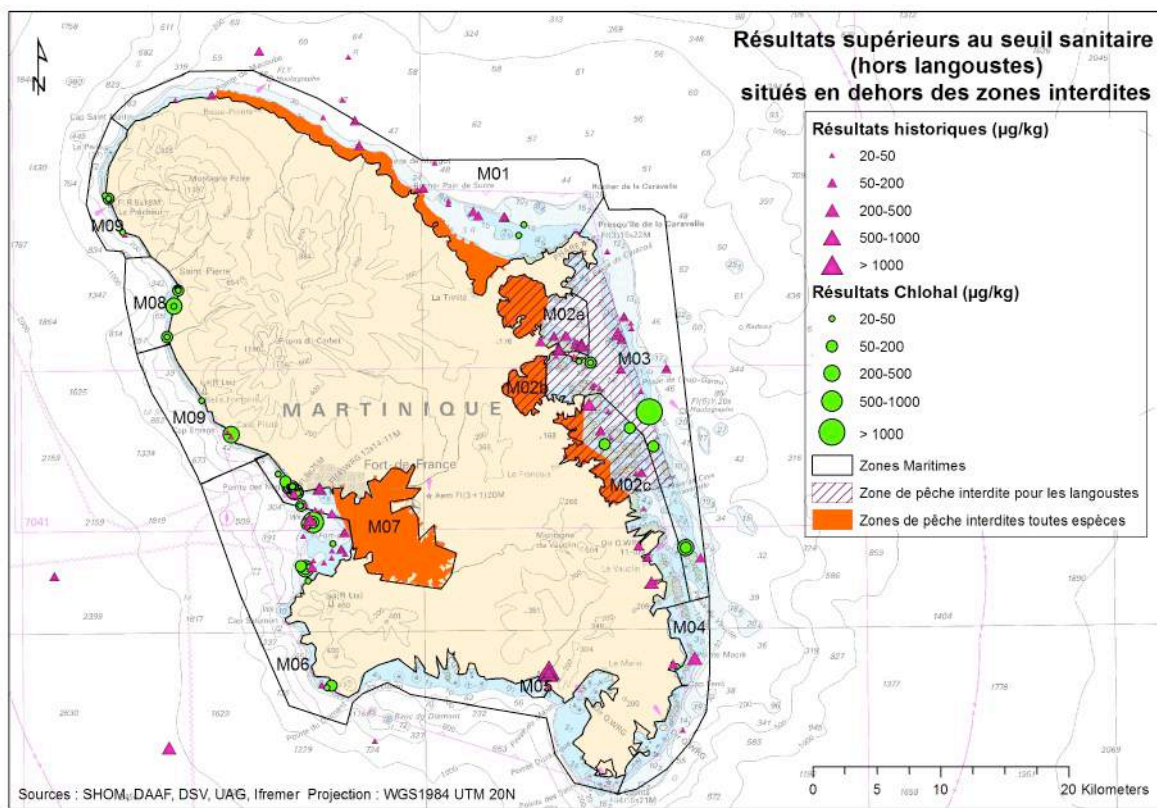


Figure II.85 : localisation et concentrations des échantillons Chlohal supérieurs au seuil de $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en Martinique

Le tableau II.4 synthétise les concentrations observées sur les différentes zones maritimes. Les concentrations supérieures au seuil se retrouvent majoritairement chez des espèces connues pour leur plus grande sensibilité à la contamination comme les « mulets », les « brochets », les « bécunes », les « vivaneaux » (notamment le « vivaneau sarde grise »), le « manicou », les « carangues » et les « gorettes ». Les « carangues crevalle » (*Caranx hippos*) jusque-là peu étudiées présentent des concentrations élevées dans la zone M03. Dans les zones M08 et M09 la contamination concerne plusieurs espèces.

Tableau II.4 : concentrations ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) pour les différentes espèces, par zones maritimes.

| | M01 | M02 | M03 | M04 | M05 | M06 | M07 | M08 | M09 |
|-----------------------------------|-------|----------------------------|----------|-------|-----|-------------|------------------|-----------|----------------|
| <i>Acanthostracion polygonius</i> | | | | | | 24 | | | |
| <i>Bodianus rufus</i> | | | | | | | 120-35-33-22 | | |
| <i>Callinectes exasperatus</i> | | | | 22-21 | | | | | |
| <i>Cantherhines macrocerus</i> | | | | | | | 30-29 | | |
| <i>Caranx hippos</i> | | 154-153-147-132-123-115-65 | | | | | | | |
| <i>Caranx latus</i> | | | | | | 74 | | | |
| <i>Carpilius corallinus</i> | | | | | | | | | 22 |
| <i>Centropomus ensiferus</i> | | | | | | 256-253-165 | | | |
| <i>Centropomus sp</i> | | | | | | 228 | | | |
| <i>Centropomus undecimalis</i> | | | 2159 | | | | | | |
| <i>Epinephelus guttatus</i> | | | | | | | 25-24-21 | | |
| <i>Gerres cinereus</i> | | | 166 | | | 104 | | | |
| <i>Haemulon bonariense</i> | | | | | | 34 | 34 | | 33-24 |
| <i>Haemulon carbonarium</i> | 22-44 | 60 | 29-27-24 | | | | | 31-25 | 139 |
| <i>Haemulon flavolineatum</i> | | | | | | | | 212-47-47 | |
| <i>Hemiramphus brasiliensis</i> | | | | | | | | 36 | |
| <i>Lutjanus analis</i> | | | 52 | | | 71-21 | | | |
| <i>Lutjanus apodus</i> | | | | | | 44-27 | 34-31-25-22 | | |
| <i>Lutjanus griseus</i> | | | | | | 86 | 439-181-74-63-38 | 64-47-23 | 202-22 |
| <i>Mugil curema</i> | | | | | | 717-530 | 125-32-26-25-21 | | 27 |
| <i>Myripristis jacobus</i> | | | | | | | | 29 | |
| <i>Pomacanthus paru</i> | | | | | | | 29 | | |
| <i>Sphyraena guachancho</i> | | | 186-129 | | | 28 | | | |
| <i>Sphyraena picudilla</i> | | | 233 | | | | 58-52-24 | | 66-33-24-24-20 |
| <i>Synodus intermedius</i> | | | | | | 20 | | | |
| <i>Tripneustes ventricosus</i> | | | | | | | | 29 | |
| <i>Tylosurus crocodilus</i> | | | | | | | 141-40-28 | | |

II.3.2. Le cas de la Guadeloupe

En Guadeloupe, l'effort d'échantillonnage a été beaucoup plus faible qu'en Martinique. Seulement sept échantillons présentaient des concentrations supérieures au seuil sanitaire et de façon modérée. (Tableau II.5).

Tableau II.5 : échantillons « Chlohal » contaminés (concentrations supérieures au seuil sanitaire) en Guadeloupe.

| Espèces | Zones | Concentrations en chlordécone ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) |
|-------------------------------------|-------|---|
| <i>Bodianus rufus</i> | G03 | 25 |
| <i>Bodianus rufus</i> | G03 | 25 |
| <i>Bodianus rufus</i> | G03 | 34 |
| <i>Lutjanus mahogoni</i> | G03 | 26 |
| <i>Lutjanus mahogoni</i> | G03 | 30 |
| <i>Lutjanus mahogoni</i> | G09 | 45 |
| <i>Heteropriacanthus cruentatus</i> | G09 | 22 |

La zone G03 est déjà une zone contaminée et les résultats concernant deux échantillons prélevés dans la zone G09 ne permettent pas de remettre en question le statut de cette zone.

II.4. Discussion

II.4.1. Contamination par zone et par espèce

La première partie de cette étude a permis de confirmer la zonation de la contamination qui est liée à la plus ou moins grande proximité des zones de pêche avec les bassins versants contaminés par la chlordécone.

Le regroupement des résultats par grands groupes trophiques a mis en évidence une contamination différente des espèces en fonction de leur mode alimentaire. De façon assez schématique, le risque de contamination est croissant depuis les consommateurs primaires (herbivores, filtrivores), les consommateurs secondaires (carnivores C1, planctonophages, C2 et piscivores), et enfin des organismes détritivores et les omnivores.

Le niveau de contamination d'un individu est donc la combinaison du risque lié à son habitat (effet zone) et du risque lié à son mode alimentaire (effet espèce), les deux étant étroitement liés. Il est donc important de faire la distinction entre les espèces sédentaires, que l'on retrouvera contaminées uniquement dans les zones à risques, et les espèces mobiles qui pourront être pêchées en dehors des zones à risque.

Les études précédentes avaient mis en évidence de grandes disparités de contamination entre les groupes trophiques et entre des espèces au sein des groupes trophiques. L'objectif de cette étude était d'améliorer les connaissances sur ces disparités entre les espèces. Les résultats obtenus mettent très souvent en évidence une très forte dispersion des valeurs (liée à l'origine géographique des prélèvements). L'utilisation d'une « concentration moyenne » pour caractériser une espèce est donc à utiliser avec beaucoup de précautions car elle est fortement liée à la représentativité de l'échantillonnage (origine et nombre de prélèvements). Il est donc préférable d'analyser les résultats par groupe de zones.

Cette analyse des résultats, espèce par espèce, en prenant en compte la répartition des résultats par groupes de zones, permet de classer les espèces en trois grandes catégories :

- les espèces globalement peu contaminées, même dans les zones à risque ;
- les espèces contaminées uniquement dans les zones à risque ;
- les espèces qui peuvent se retrouver contaminées en dehors des zones à risque.

- Les espèces ou groupes d'espèces peu contaminées

Dans ce groupe on retrouve les poissons herbivores, représentés majoritairement par les chirurgiens (*Acanthurus* spp.) et les perroquets (*Scarus* spp. et *Sparisoma* spp.). Parmi ces espèces, quelques individus peuvent toutefois afficher des concentrations au-dessus du seuil de $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ dans les zones contaminées, notamment les poissons perroquets du genre *Sparisoma* (15 individus sur 226).

Les poissons piscivores pélagiques, qui n'effectuent pas ou très rarement des raids alimentaires vers les côtes, sont pêchés au large et sont généralement très peu contaminés. Ce groupe rassemble par exemple le thazard bâtard (*Acanthocybium solandri*), les thons à nageoires jaunes et noires (*Thunnus albacares* et *T. atlanticus*), le makaira (*Makaira nigricans*), le listao (*Katsuwonus pelamis*) ou encore la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*) dont seulement deux échantillons sur 97 sont contaminés.

Les demi-becs (*Hemiramphus balao* et *H. brasiliensis*) sont généralement peu contaminés (4 individus sur 79 dépassent le seuil sanitaire, de même que quelques poissons carnivores d'ordre 1 comme la souris blanche ou barbarin (*Mulloidichthys martinicus*), la « bourse cabri » (*Cantherines macrocerus*), la « gorette tibouche » (*Haemulon chrysargyreum*).

Les crustacés herbivores parmi lesquels le crabe de terre (*Cardisoma guanhumi*), le crabe mantou (*Ucides cordatus*) et crabe royal (*Mythrax spinosissimus*) sont globalement peu contaminés même si ces trois espèces peuvent présenter très ponctuellement des individus contaminés dans les zones à risque.

Certains mollusques tels que le lambi, *Strombus gigas* sont peu contaminés. Pour ce qui concerne l'oursin blanc *Tripneustes ventricosus*, celui-ci apparaît faiblement contaminé lorsque les analyses portent sur l'animal entier, mais quand celles-ci sont effectuées sur les gonades seules (la partie consommée de l'animal), la contamination apparaît importante.

- Les espèces contaminées dans les zones à risque

Les poissons détritivores tels que les mullets (*Mugil* spp.) et le tilapia (*Oreochromis mossambicus*), du fait de leur régime alimentaire et de leur habitat proche des embouchures et dans les rivières, sont particulièrement touchées par la contamination. Certaines concentrations mesurées sont très élevées (par exemple, $1036 \mu\text{g.kg}^{-1}$ pour un tilapia pêché en Guadeloupe).

Les crustacés détritivores ou carnivores comme les crabes ciriques (*Callinectes* spp.) sont très fortement contaminés dans les zones à risque (concentration maximale de $15\ 200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ mesurée en Martinique).

Les zooplanctonophages côtiers sont touchés par la contamination (probablement du fait des Crustacés planctoniques qu'ils ingèrent). La contamination des poissons planctonophages reste cependant cantonnée aux zones à risque. Il s'agit par exemple des pisquettes (Engraulidae et Atherinidae), les harengules (*Harengula* spp.) ou du gros coulirou (*Selar crumenophthalmus*).

Certaines espèces carnivores de premier et de deuxième ordre telles que les barbarins (*Mulloidichthys martinicus* et *Pseudupeneus maculatus*) et le mérrou (*Cephalopholis fulva*), sont principalement contaminés dans les zones à risque. Le nombre de prélèvements reste faible cependant. Chez les mollusques, les poulpes contaminés (*Octopus* spp.) sont cantonnés dans les zones à risque.

Certains poissons piscivores côtiers comme les murènes, le poisson-lion (*Pterois volitans*), le mérrou (*Cephalopholis cruentata*) ou le tarpon (*Megalops atlanticus*) sont également contaminés dans les zones à risque.

Parmi les suspensivores, les palourdes blanches (*Codakia orbicularis*) pêchées dans la baie du Petit Cul-de-Sac Marin en Guadeloupe présentent un fort pourcentage de résultats supérieurs au seuil sanitaire et une concentration maximale de 186 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

- Les espèces contaminées à l'extérieur des zones à risques

Des espèces contaminées et capables de parcourir de grandes distances peuvent être capturées à l'extérieur des zones à risque. Il s'agit principalement d'espèces carnivores 1 et 2 et de piscivores.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude confirment que les brochets de mer (*Centropomus undecimalis*) peuvent être très contaminés et que certains individus se déplacent loin des zones à risque. La plus forte concentration (2 159 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) a été observée sur un individu pêché dans le cadre du projet Chlohal à environ 5 km des côtes (zone M03 en Martinique).

Les poissons piscivores pélagiques comme les thazards (*Scomberomorus* spp.), les carangues (*Caranx crysos* et *C. latus*) et la thonine (*Euthynnus alletteratus*) entreprennent des raids alimentaires sur les côtes et peuvent se retrouver contaminés en dehors des zones à risque. Les cas sont assez rares et les contaminations moins élevées que dans les zones à risque.

Les goquettes (*Haemulon* spp.) pêchées hors des zones à risque sont parfois contaminées (par exemple : 274 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ mesurés dans une goquette pêchée entre le Diamant et Trois Rivières).

Les marignans (*Holocentrus* spp.) sont principalement contaminés dans les zones à risque mais certains individus contaminés sont pêchés loin des zones à risque (les concentrations restent cependant peu élevées : 47 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour un individu pêché vers Les Trois-Îlets).

Les vivaneaux côtiers (*Lutjanus* spp. et *Ocyurus chrysurus*) sont très mobiles. Des individus contaminés ont été pêchés au large des zones contaminées (M03 et M06 en Martinique et G03, G04, G08 et G09 en Guadeloupe).

Les piscivores côtiers tels que les petites carangues (par exemple, *Caranx hippos* et *Caranx ruber*), sont parfois contaminés au large des zones à risque. Les sept *Caranx hippos* prélevés en zone M02 en Martinique dans le cadre de cette étude présentaient des contaminations assez homogènes comprises entre 65 et 154 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Certains crabes sont particulièrement sensibles face à la contamination (*Carpilius corallinus* et *Callinectes* spp.). Les crabes ciriques (*Callinectes* spp.) sont contaminés dans des zones de contamination secondaires (M05 et M04 en Martinique et G04 en Guadeloupe).

La langouste blanche (*Panulirus argus*) est très mobile et des individus contaminés sont retrouvés hors des zones à risque (M03 et M10 en Martinique ; G06 et G09 en Guadeloupe).

Des échantillons contaminés de langouste brésilienne (*Panulirus guttatus*) ont été rencontrés au large de la zone à risque en Martinique (M03). Les langoustes se contaminent près des côtes, au cours de leur phase juvénile, puis s'éloignent vers le large au cours des années où l'on observe alors une diminution de la contamination, liée à l'augmentation de la taille des individus et à leur croissance par mue.

II.4.2. Résultats et réglementation

Les études antérieures avaient mis en évidence une zonation importante de la contamination, ainsi qu'une sensibilité différente selon les espèces. Ces résultats avaient conduit à la mise en place d'une réglementation de la pêche avec la délimitation de zones interdites et (ou) d'espèces interdites (arrêté du préfectoral N° 2012335-0003 du 30 novembre 2012 en Martinique et arrêté N° 2014-012 du 28 février 2014 portant modification de l'arrêté

N° 2013-057 du 26 juin 2013 en Guadeloupe).

Le projet Chlohal avait pour premier objectif d'améliorer les connaissances sur la cartographie de la contamination.

Un des résultats du programme Chlohal en Martinique renforce le niveau de contamination des zones M08 et, dans une moindre mesure, M09. Ces observations ne sont pas surprenantes, compte tenu de la concentration élevée en chlordécone qui avait été relevée dans les sédiments de la rivière Roxelane (Bertrand *et al.*, 2009). Les prélèvements avaient été concentrés dans cette zone pour lever l'interrogation qui persistait à ce sujet à cause de la faiblesse des prélèvements antérieurs provenant de ces secteurs.

Une autre avancée notable de Chlohal est la confirmation de la contamination à l'entrée de la baie de Fort-de-France au-delà de la limite d'interdiction de l'arrêté préfectoral de 2012 (Anon. 2012), ainsi qu'au large de la côte centre-atlantique.

En conclusion, les résultats obtenus dans le cadre du projet Chlohal posent la question d'une extension des limites des zones d'interdiction ou de restriction de pêche notamment dans la zone M08. En Guadeloupe, l'effort d'échantillonnage a été beaucoup plus faible qu'en Martinique et les résultats n'apportent aucun changement quant à la cartographie de la contamination déjà établie.

Il ne paraît pas nécessaire de poursuivre des études et des prélèvements dans le but d'améliorer la cartographie de la contamination, puisque cette image semble à présent suffisamment précise.

Chapitre III : Transfert de la molécule de chlordécone dans les réseaux trophiques

Ce chapitre porte sur la compréhension des modes de transfert de la molécule de chlordécone dans les réseaux trophiques marins côtiers. Plusieurs questions sont soulevées :

- *Quelles sont les voies d'entrée de la molécule dans les chaînes alimentaires ?*

Dans cette section, le niveau de contamination des sources de carbone est comparé entre les différents compartiments qui sont à la source du carbone dans les réseaux trophiques (sédiment, biofilm, zooplancton, matière en suspension, matière végétale).

- *Peut-on mettre en évidence un phénomène de bioamplification de la molécule dans la chaîne alimentaire ?*

La bioamplification est le phénomène par lequel les contaminants s'accumulent dans les organismes au fur et à mesure que l'on s'élève dans la chaîne alimentaire. Pour répondre à cette question, le niveau de contamination est comparé entre les différents groupes trophiques.

- *Peut-on mettre en évidence un gradient de contamination de la côte vers le large ?*

Le niveau de contamination des organismes prélevés à la fois en mangrove, en herbier et en récif est comparé selon l'habitat où ils ont été collectés.

L'ensemble des concentrations en chlordécone mesurées dans le cadre de cette deuxième partie est donné dans les annexes 4 à 7.

III.1. Voies d'entrée de la chlordécone dans les réseaux trophiques

III.1.1. Contamination des sédiments et du biofilm

Les sédiments ont été collectés sur environ 10 cm de profondeur. Les échantillons de sédiment sont constitués de particules de sable, de fragments de macroalgues calcaires et de matière organique sédimentaire. La fraction organique des sédiments est relativement faible, voire nulle pour les sédiments récifaux essentiellement bioclastiques (figure III.1). Le biofilm a été récolté sur le premier centimètre de la surface des sédiments. Il est constitué de fines particules, majoritairement d'origine organique, détritique ou bactérienne.

Tous les échantillons de sédiments et de biofilm présentaient des concentrations inférieures à $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ MS, ce qui correspond au seuil de détection. Si ces échantillons contenaient de la chlordécone, leur concentration se situerait entre 0 et $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ MS. Quelle que soit la localisation des prélèvements (mangrove, herbier ou récif), les résultats sont similaires.

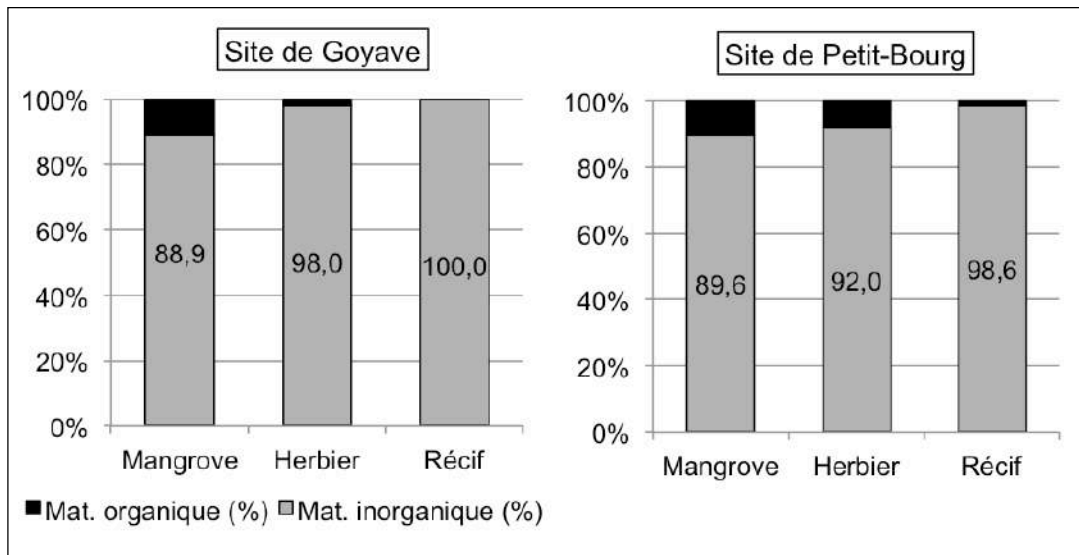


Figure III.1 : pourcentages de matière organique (en noir) et de matière inorganique (en gris) dans les sédiments de mangrove, herbier et récif sur les deux sites étudiés.

III.1.2. Contamination du zooplancton et de la matière en suspension (MES)

Deux types d'échantillons ont été prélevés dans la colonne d'eau : le zooplancton et la matière en suspension (MES) qui contient de la matière organique particulaire et du phytoplancton.

La quantité de matière en suspension (MES) collectée dans l'eau de mer est variable selon l'habitat. Les eaux collectées en mangrove sont chargées en matière en suspension tandis que les eaux prélevées sur les récifs sont plus pauvres en MES (Tableau III.1).

Les concentrations en chlordécone mesurées dans le zooplancton au large des récifs, sont faibles et varient selon le site étudié. La concentration moyenne (\pm ET) du zooplancton à Goyave est de $6,3 \pm 2,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF tandis que celle mesurée sur le zooplancton à Petit-Bourg est de $20,7 \pm 2,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF. Ces variations peuvent être d'ordre spatial mais également d'ordre temporel car les échantillons de plancton n'ont pas été collectés le même jour sur les deux sites.

Tableau III.1 : quantité moyenne (\pm ET) de matière en suspension collectée (en mg.l^{-1}) selon le site et l'habitat et leurs concentrations moyennes en chlordécone CHD (\pm ET) en $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

| Sites | Habitats | Quantité de MES (mg.l^{-1}) | Concentrations en CHD ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) |
|-------------|----------|--|---|
| Goyave | Mangrove | $13,0 \pm 3,7$ | $60 \pm 9,9$ |
| | Herbier | $8,6 \pm 0,4$ | $31 \pm 5,6$ |
| | Récif | $3,5 \pm 0,2$ | $21 \pm 0,0$ |
| Petit Bourg | Mangrove | $45,0 \pm 17,3$ | $191,3 \pm 38,5$ |
| | Herbier | $13,3 \pm 3,9$ | $31,7 \pm 2,9$ |
| | Récif | $4,2 \pm 0,1$ | $30,3 \pm 2,1$ |

Les eaux côtières, qui sont les plus chargées en matière en suspension, sont aussi les plus contaminées en chlordécone. On observe globalement une diminution de la quantité de matière en suspension collectée et de leur concentration en chlordécone avec l'éloignement à la côte (de la mangrove vers le récif).

III.1.3. Contamination des sources végétales

Les sources végétales sont les macroalgues, les Magnoliophytes marins (ex Phanérogames marines), le gazon algal et la litière de feuilles de palétuviers. Au cours de l'étude, sept genres ou espèces de macroalgues ont été étudiés. Les différentes espèces présentent des concentrations en chlordécone faibles, à l'exception du genre *Dictyota* sp. dont la valeur maximale observée atteint 588 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Tableau III.2). Les espèces du genre *Dictyota* sont en principe peu consommées par les herbivores du fait des molécules répulsives qu'elles synthétisent (Schmitt *et al.*, 1995). Les valeurs obtenues pour *Dictyota* n'ont pas été utilisées dans la suite du rapport pour ne pas conduire à des interprétations erronées.

Tableau III.2 : concentrations moyennes en chlordécone (\pm ET) en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ mesurées dans les espèces de macroalgues selon le site et l'habitat.

| Sites Habitats | Goyave | | | Petit-Bourg | | |
|--------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| <i>Acantophora spicifera</i> | 7,6 \pm 0,6 | | 2,3 \pm 0,4 | 11,3 \pm 0,6 | | |
| <i>Caulerpa sertularioides</i> | | 10,7 \pm 2,0 | | | 16,6 \pm 6,0 | 30,3 \pm 0,6 |
| <i>Dictyota</i> sp. | | 165,7 \pm 46,2 | 97,0 \pm 14,4 | | 558,7 \pm 42,4 | 161,7 \pm 16,2 |
| <i>Enteromorpha flexuosa</i> | 9,6 \pm 0,8 | | | | | |
| <i>Galaxaura rugosa</i> | | | 2,1 \pm 0,6 | | | 2,2 \pm 0,1 |
| <i>Halimeda incrassata</i> | | | 1,9 \pm 1,1 | | | 3,2 \pm 0,5 |
| <i>Padina</i> sp. | | 1,8 \pm 0,3 | | | 4,5 \pm 0,3 | |

Parmi les Magnoliophytes marins, trois espèces ont été étudiées : *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* et *Halophila stipulacea*. Les trois espèces affichent des concentrations faibles, allant de 2,7 à 13,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, quel que soit le site ou l'habitat (Tableau III.3). Trois échantillons de *Thalassia testudinum* couverts d'épiphytes ont été analysés pour tester la contamination de ces organismes. La concentration moyenne (\pm ET) est également faible (3,7 \pm 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Tableau III.3 : concentrations en chlordécone (\pm ET) en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ mesurées dans les espèces de Magnoliophytes marins selon le site et l'habitat étudié.

| Sites Habitats | Goyave | | Petit-Bourg | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|-------------|---------------|
| | Herbier | Mangrove | Herbier | Herbier |
| <i>Thalassia testudinum</i> | 2,7 \pm 0,2 | | | 3,0 \pm 0,6 |
| <i>T. testudinum</i> avec épiphytes | 3,7 \pm 0,1 | | | |
| <i>Syringodium filiforme</i> | 6,9 \pm 0,3 | | | 4,6 \pm 0,9 |
| <i>Halophila stipulacea</i> | 4,1 \pm 0,8 | 13,3 \pm 9,9 | | 4,6 \pm 0,9 |

Dans la mangrove, la litière de feuilles de palétuvier qui recouvre le fond a été analysée. Les trois échantillons de litière de feuilles sont très faiblement contaminés par la chlordécone avec une concentration moyenne égale à 2,2 \pm 0,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Enfin, le gazon algal a été récolté sur les récifs. Il s'agit d'algues naturellement de petite taille ou de macroalgues à un stade juvénile qui se fixent sur les substrats durs. Les trois échantillons de gazon collectés à Goyave affichent des concentrations nulles en chlordécone, tandis que les deux échantillons collectés à Petit-Bourg présentent une concentration égale à $4,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$.

III.2. Transfert de la molécule dans le réseau trophique

Les animaux prélevés au cours de cette étude ont été regroupés par catégories de consommateurs (primaires, secondaires) puis par groupes trophiques (détritivores, herbivores, omnivores, Carnivores 1, zooplanctonophages, Carnivores 2, piscivores).

III.2.1. Niveau de contamination des consommateurs primaires

La contamination des consommateurs primaires selon leur groupe trophique est présentée dans la figure III.2 pour le site de Goyave et dans la figure III.3 pour le site de Petit-Bourg. Dans la catégorie de consommateurs primaires, cinq groupes trophiques ont été étudiés : les suspensivores, les filmivores, les invertébrés herbivores et les poissons herbivores.

Sur le site de Goyave, les concentrations en chlordécone sont statistiquement différentes selon le groupe trophique des organismes étudiés (Kruskal-Wallis ; $X^2=11,1$; $df=3$; $p=0,01$). Les invertébrés herbivores (et notamment l'oursin blanc *Tripneustes ventricosus*), différent des autres groupes par une concentration moyenne plus élevée ($100 \pm 24,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$) alors que les suspensivores, les poissons herbivores et les filmivores présentent des concentrations moyennes égales à $22,7 \pm 30,8 \mu\text{g.kg}^{-1}$, $21,8 \pm 14,8 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et $11,2 \pm 9,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ respectivement. Il faut rappeler ici que ce sont les gonades de l'oursin blanc *Tripneustes ventricosus* qui ont été analysées. Or les gonades, très riches en lipides, ont un plus fort potentiel bioconcentrateur de la chlordécone, impliquant certaines valeurs de chlordécone très élevées (une valeur à $126 \mu\text{g.kg}^{-1}$ PF).

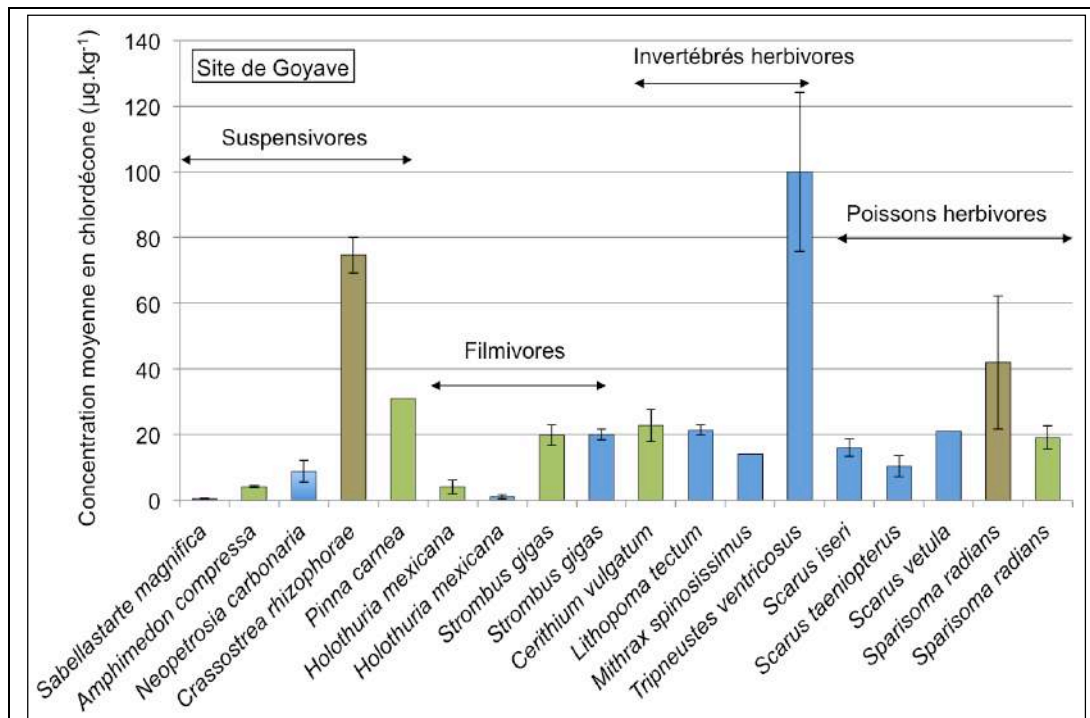


Figure III.2 : niveau de contamination des consommateurs primaires, prélevés sur le site de Goyave dans la mangrove (brun), l'herbier (vert) et le récif (bleu).

Sur le site de Petit-Bourg, aucune différence significative n'a été démontrée entre les groupes trophiques (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$). Les valeurs mesurées pour les filmivores, les invertébrés herbivores, les poissons herbivores et les suspensivores sont variables, menant à des concentrations moyennes de ces quatre groupes comprises entre 20,5 et 42,7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Les concentrations les plus élevées parmi les consommateurs primaires sont atteintes par les huîtres de palétuvier, *Crassostrea rhizophorae* ($122,3 \pm 3,8 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Cependant, il s'agit du seul prélèvement effectué en mangrove parmi les consommateurs primaires. Leurs concentrations en chlordanes plus élevées que les autres groupes trophiques peuvent être dues à un effet « habitat » et non un effet « groupe trophique ».

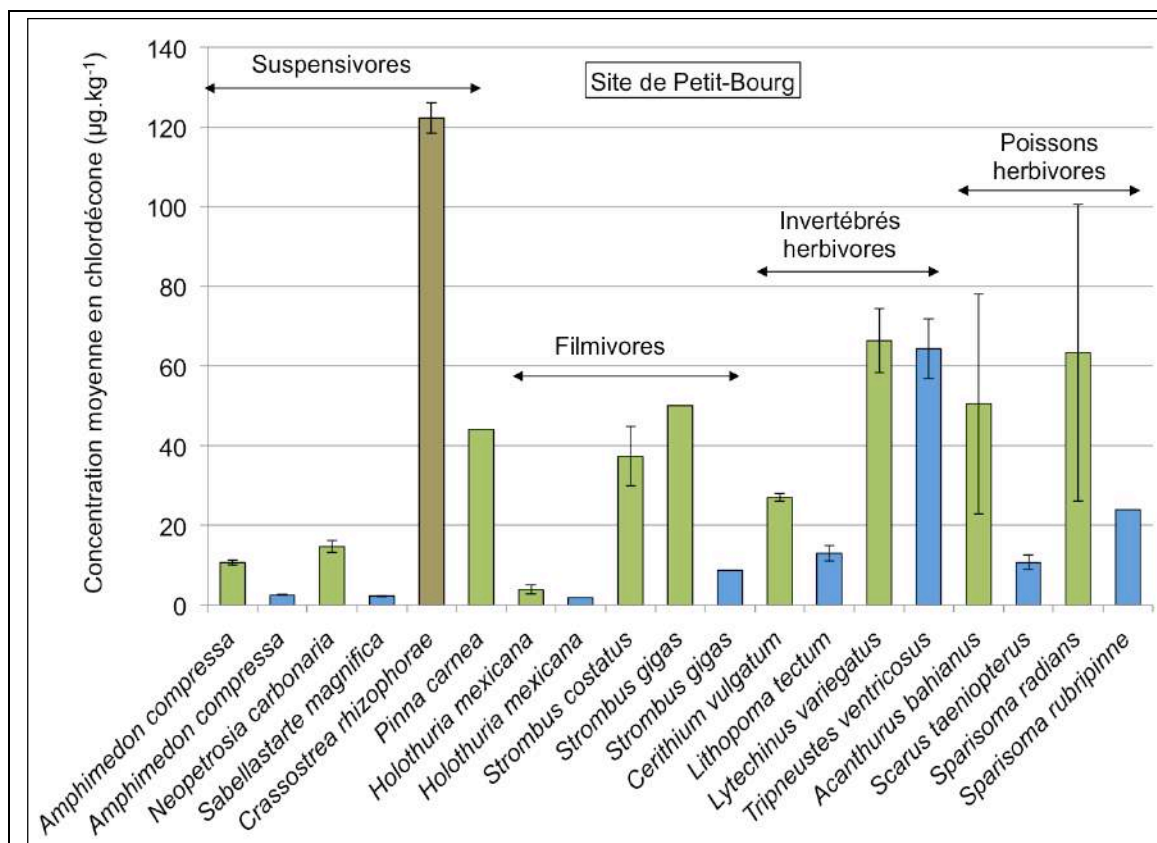


Figure III.3 : niveau de contamination des consommateurs primaires, prélevés sur le site de Petit-Bourg dans la mangrove (brun), l’herbier (vert) et sur le récif (bleu).

III.2.2. Niveau de contamination des organismes symbiotiques

Les organismes symbiotiques, tels que les coraux et les anémones, ont un mode d’alimentation particulier puisqu’ils puisent leurs ressources à la fois dans le zooplancton qu’ils consomment la nuit et par la photosynthèse effectuée le jour par leurs algues symbiotiques.

Les concentrations mesurées dans ces organismes semblent dépendre de l’habitat et du site (Tableau III.4). Ainsi, l’anémone *Stichodactyla helianthus*, prélevée à Goyave est quatre fois plus contaminée que celle collectée sur le récif de Petit-Bourg. De la même manière, la concentration moyenne de *Porites furcata* sur l’herbier est trois fois plus élevée que celle de la même espèce collectée sur le récif. Ces variations peuvent être dues à une variation de la teneur en chlordanes dans le zooplancton, comme cela a déjà été évoqué précédemment (section III.1.2.) ou à l’éloignement par rapport à la côte.

Tableau III.4 : concentrations moyennes en chlordanes (\pm ET) en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ mesurées dans les organismes symbiotiques selon le site et l’habitat.

| Sites | Goyave | | Petit-Bourg |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Herbier | Récif | Récif |
| <i>Porites astreoides</i> | | 1,5 \pm 0,3 | 2,4 \pm 0,6 |
| <i>Porites furcata</i> | 11,3 \pm 0,6 | 2,6 \pm 0,4 | 1,9 \pm 0,5 |
| <i>Stichodactyla helianthus</i> | | 41,7 \pm 6,0 | 11,5 \pm 2,3 |

III.2.3. Niveau de contamination des organismes détritiques et omnivores

Les valeurs moyennes de chlordécone mesurées pour les organismes détritiques et les organismes omnivores sont présentées dans les figures III.4 et III.5.

Sur les deux sites étudiés, les concentrations en chlordécone mesurées dans les organismes détritiques et omnivores ne sont pas différentes statistiquement selon leur groupe trophique d'appartenance (Kruskal-Wallis, tous les $p > 0.05$). Ces résultats peuvent s'expliquer par le nombre restreint de certains échantillons ou par les fortes variations de concentrations observées pour une même espèce.

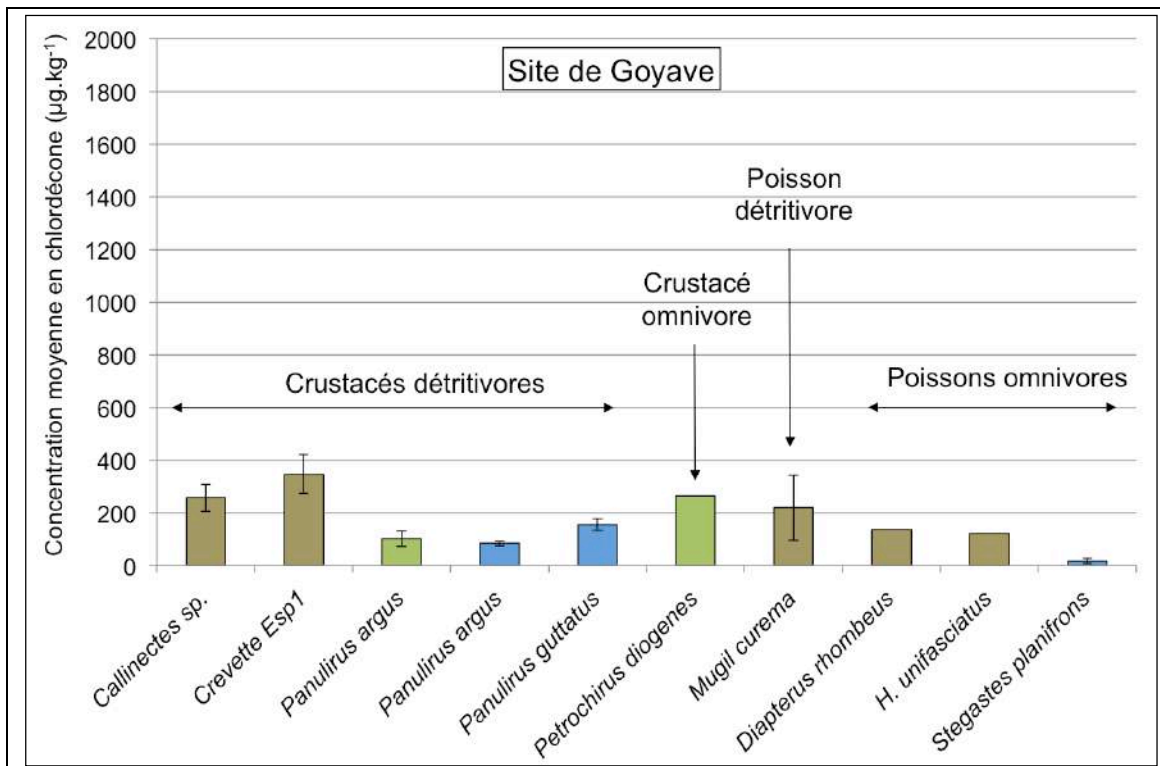


Figure III.4 : niveau de contamination des organismes détritiques et omnivores, prélevés sur le site de Goyave dans la mangrove (brun), l'herbier (vert) et le récif (bleu). *H. unifasciatus* : *Hyporhamphus unifasciatus*.

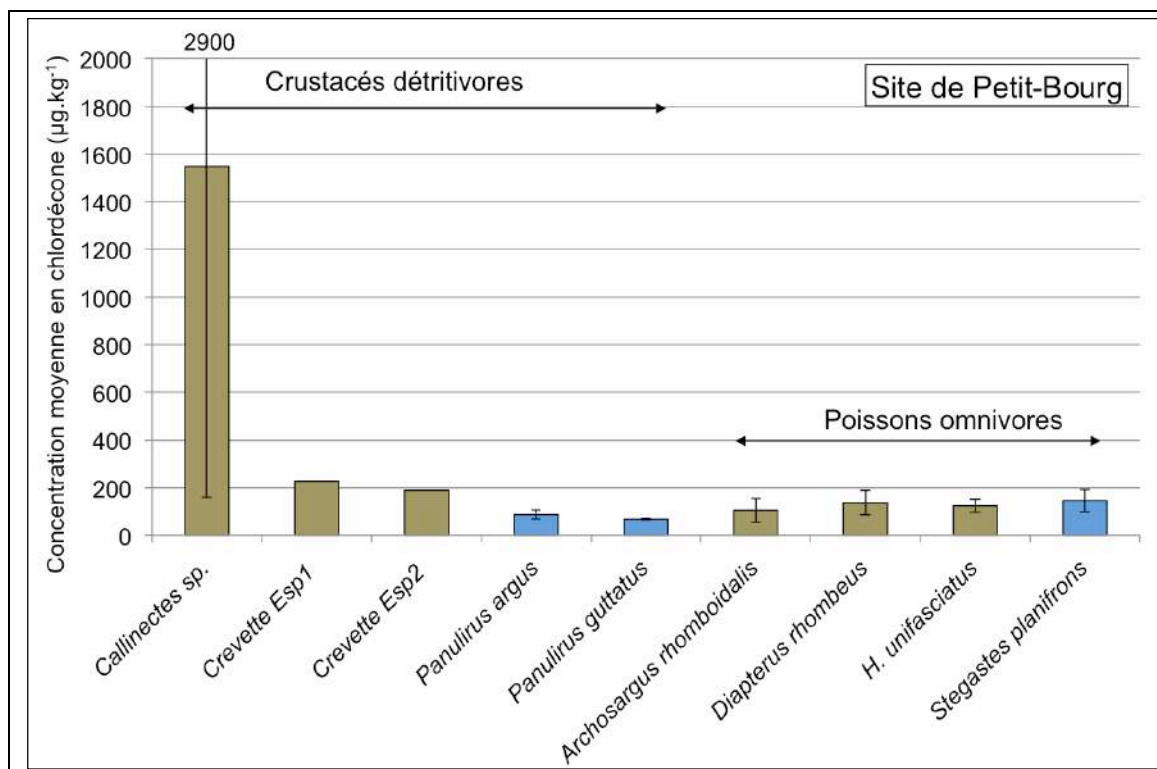


Figure III.5 : niveau de contamination des organismes détritivores et omnivores, prélevés sur le site de Petit-Bourg dans la mangrove (brun), l'herbier (vert) et le récif (bleu). *H. unifasciatus* : *Hyporhamphus unifasciatus*.

III.2.4. Niveau de contamination des consommateurs secondaires

La contamination des consommateurs secondaires selon leur groupe trophique est présentée dans la figure III.6 pour le site de Goyave et dans la figure III.7 pour le site de Petit-Bourg. Dans la catégorie de consommateurs secondaires, cinq groupes trophiques ont été étudiés : les invertébrés et poissons carnivores de premier ordre notés « C1 » (consommateurs d'invertébrés), les poissons zooplanctonophages, les poissons carnivores de deuxième ordre notés « C2 » (consommateurs d'invertébrés et de poissons) et les poissons piscivores. Cette catégorie trophique regroupe le plus d'espèces échantillonnées sur les deux sites.

Quel que soit le site étudié, les concentrations en chlordécone mesurées pour les consommateurs secondaires ne sont pas différentes selon le groupe trophiques des organismes (Kruskal-Wallis, tous les $p > 0,05$). Ces comparaisons ont également été réalisées en considérant indépendamment les données de chaque milieu d'étude. Aucune différence statistiquement significative n'a été démontrée entre les concentrations des différents groupes trophiques de chacun des habitats étudiés. Au sein de chaque groupe, il existe de grandes variations dans les concentrations en chlordécone. Par exemple, parmi les poissons C1 collectés à Goyave, les valeurs s'échelonnent de $54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $1034 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Ces variations doivent être à l'origine de l'absence de différences de contamination statistiquement décelable entre les groupes trophiques.

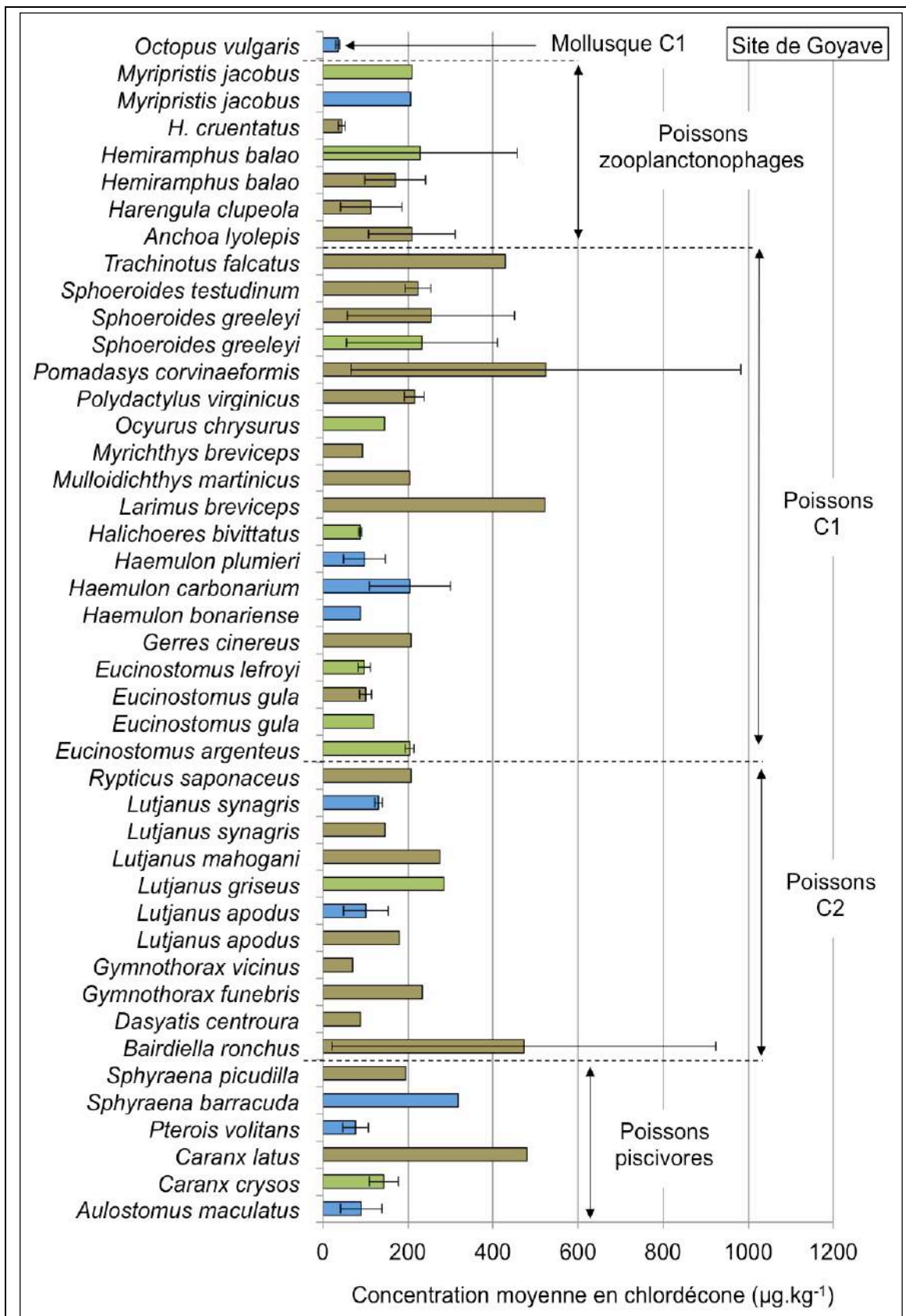


Figure III.6 : niveau de contamination des consommateurs secondaires, prélevés sur le site de Goyave dans la mangrove (brun), l’herbier (vert) et le récif (bleu).

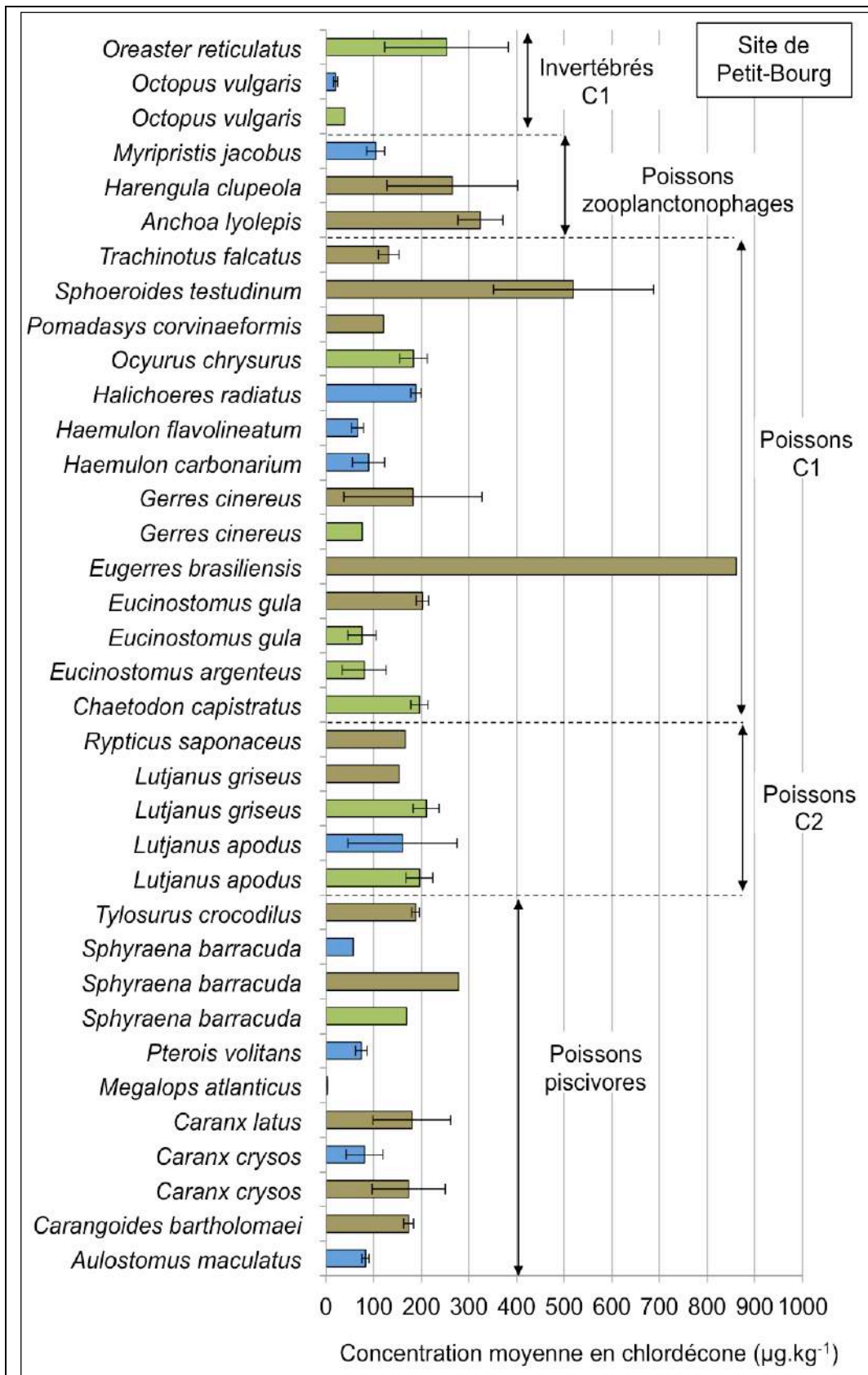


Figure III.7 : niveau de contamination des consommateurs secondaires, prélevés sur le site de Petit-Bourg dans la mangrove (brun), l'herbier (vert) et le récif (bleu).

III.2.5. Comparaison du niveau de contamination entre les catégories trophiques

Les concentrations en chlordécone ont été comparées entre les catégories trophiques sur le site de Goyave (figure III.8) et sur le site de Petit-Bourg (figure III.9).

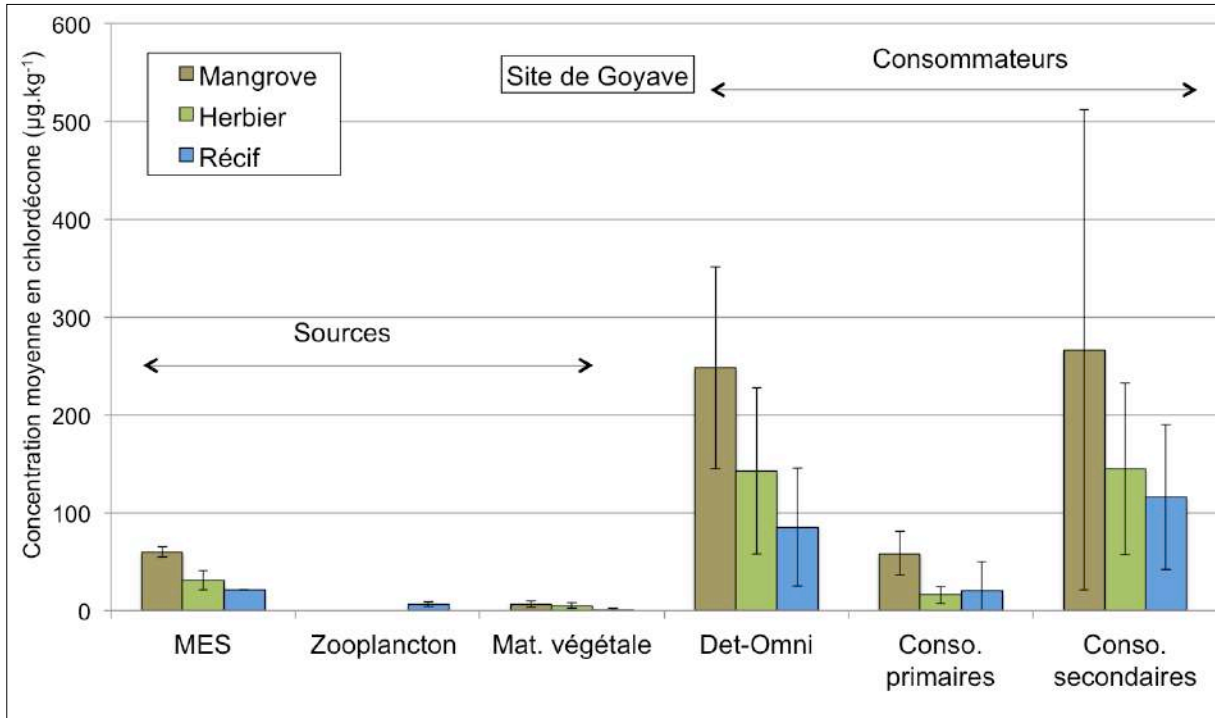


Figure III.8 : niveau de contamination des échantillons selon leur catégorie trophique sur le site de Goyave. MES : matière en suspension. Det-Omni : organismes détritiques et omnivores.

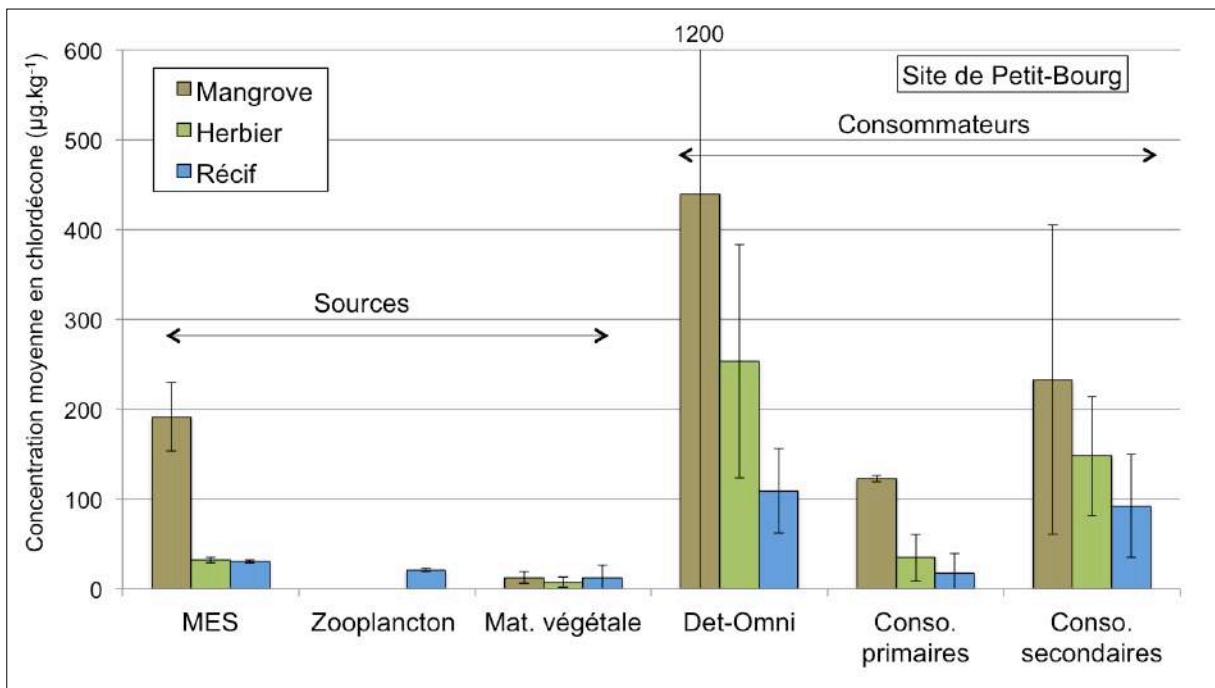


Figure III.9 : niveau de contamination des échantillons selon leur catégorie trophique sur le site de Petit-Bourg. MES : matière en suspension. Det-Omni : organismes détritiques et omnivores.

Les sédiments et les échantillons de biofilm n'ont pas pu être pris en compte dans ces comparaisons en raison de l'absence de valeurs quantifiées de leurs concentrations (toutes les données sont $< 10 \mu\text{g.kg}^{-1}$).

Dans chaque station du site de Goyave, les concentrations en chlordécone diffèrent selon la catégorie trophique (Kruskal-Wallis, tous les $p < 0,0001$). Les comparaisons multiples ont montré que les sources de carbones et les consommateurs primaires affichent des concentrations similaires. Ce groupe « sources-consommateurs primaires » se différencie statistiquement des deux autres catégories de consommateurs que sont les organismes détritivores-omnivores et les consommateurs secondaires.

Sur le site de Petit-Bourg, les résultats diffèrent selon l'habitat étudié. En mangrove, la matière végétale se distingue des autres catégories du fait de ses valeurs très faibles (Kruskal-Wallis ; $X^2=16,5$; $df=4$; $p=0,002$). Les autres catégories affichent des concentrations statistiquement similaires. Pour ce qui concerne les échantillons récoltés dans les herbiers, les concentrations des sources sont faibles, semblables entre elles et différentes de celles des consommateurs (Kruskal-Wallis ; $X^2=48,9$; $df=4$; $p < 0,0001$). Les consommateurs diffèrent ensuite les uns des autres par leurs concentrations. Les consommateurs primaires sont caractérisés par les valeurs en chlordécone les plus faibles, les consommateurs secondaires par les valeurs les plus élevées tandis que les organismes détritivores et omnivores présentent des concentrations intermédiaires.

Enfin, sur le récif de Petit-Bourg, les résultats sont identiques à ceux observés à Goyave : les sources et les consommateurs primaires présentent des concentrations semblables et se différencient statistiquement des détritivores et des consommateurs secondaires (Kruskal-Wallis ; $X^2=54,2$; $df=6$; $p < 0,0001$).

III.3. Comparaison des niveaux de contamination selon l'habitat

Afin de comparer le niveau de contamination des communautés marines entre les trois habitats (mangrove, herbier et récif), les groupes trophiques représentés dans les trois habitats ont été pris en considération. Cette stratégie permet d'éviter les biais liés à la composition du jeu de données. Ainsi, à Goyave, la matière en suspension, les macroalgues, les poissons herbivores, les crustacés détritivores, les poissons zooplanctonophages, les poissons C1, les poissons C2, les poissons piscivores ont été retenus pour tester les différences de contamination entre les stations. Pour le site de Petit-Bourg, les échantillons choisis pour ces comparaisons sont : la matière en suspension, les macroalgues, les poissons C1, les poissons C2 et les poissons piscivores. Les concentrations moyennes des groupes sélectionnés selon la station d'étude sont présentées sur la figure III.10.

Le niveau de contamination est statistiquement différent selon les habitats à Goyave (Kruskal-Wallis ; $X^2=24,5$; $df=2$; $p < 0,0001$) et à Petit-Bourg (Kruskal-Wallis ; $X^2=16,6$; $df=2$; $p < 0,001$). Les concentrations en chlordécone sont les plus élevées pour les échantillons prélevés dans la mangrove, intermédiaires pour les échantillons de l'herbier et les plus faibles pour les échantillons collectés sur le récif.

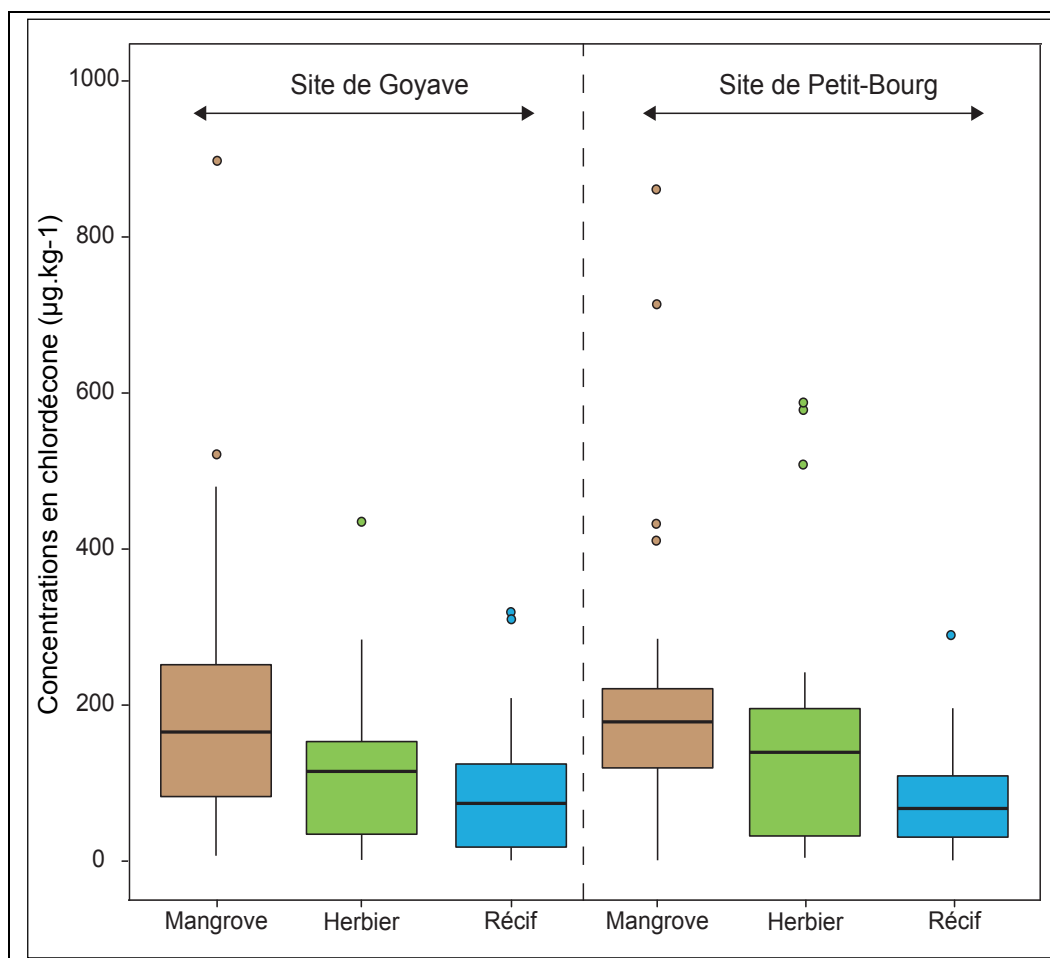


Figure III.10 : Niveaux de contamination mesurés sur les trois habitats sur le site de Goyave et le site de Petit-Bourg.

III.4. Discussion

III.4.1. Voies d'entrée de la chlordanes dans les réseaux trophiques

Etant inférieures au seuil de détection, les concentrations en chlordanes mesurées dans les sédiments marins sont soit indétectables, soit comprises entre 0 et 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ MS. Ce compartiment ne représente donc pas une source importante de contamination. Ces résultats rejoignent ceux de Robert (2012) qui a montré l'existence d'une faible contamination des sédiments de la baie du Robert en Martinique, bien que cette baie reçoive des eaux polluées par la chlordanes. Ces faibles teneurs en chlordanes dans les sédiments peuvent être expliquées par leur faible teneur en matière organique (avec laquelle la chlordanes présente des affinités ; Luellen *et al.*, 2006), par l'absence de minéraux argileux capables d'adsorber la chlordanes, ou encore par la profondeur des carottages qui ne permet pas l'étude de la contamination des sédiments sur une longue période de temps (Robert, 2012). Dans la baie du Galion, les sédiments affichent des concentrations plus élevées (entre 3 et 68 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) qui sont expliquées par la composition différente du cortège minéralogique des sédiments de cette baie (Robert, 2012). D'autres études réalisées en Martinique ont montré une corrélation entre le niveau de contamination des sédiments de rivière et celui des sédiments estuariens (Bocquené et Franco, 2005 ; Bertrand *et al.*, 2009 ; Rocle *et al.*, 2009). Le niveau de contamination de ces sédiments reste cependant relativement faible.

Dans la présente étude, la molécule de chlordécone n'a pas été détectée dans les échantillons de biofilm alors que ce compartiment est très contaminé en rivière (664 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ en moyenne ; Coat, 2009). Cependant, le biofilm marin peut avoir une composition différente de celui de la rivière, entraînant des propriétés physicochimiques différentes.

Alors qu'elle n'a pas été détectée dans les compartiments sédimentaires, la chlordécone est présente dans la matière en suspension (MES). Les molécules de chlordécone sont donc fixées à la matière en suspension de l'eau de mer ou assimilées par le phytoplancton qui est présent dans nos échantillons de MES. Ces résultats rejoignent ceux de Coat (2009) en rivière, où la matière particulaire dérivante constitue la source la plus contaminée (2992 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ en moyenne).

Le zooplancton qui se nourrit en partie de cette matière en suspension et du phytoplancton présente des concentrations variables (de 4 à 23 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). Dans la présente étude, le zooplancton a été prélevé au large des deux sites (au large des barrières récifales). En considérant la dilution de la contamination avec l'éloignement à la côte, il est probable que ce compartiment atteigne des concentrations beaucoup plus élevées à proximité du littoral. Lors de prélèvements précédemment réalisés aux embouchures des rivières en Guadeloupe, la concentration du zooplancton atteignait des valeurs très élevées : 1400 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ devant l'embouchure de la rivière du Grand Carbet (Monti *et al.*, 2014) et 3500 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ à l'embouchure de la rivière Grande Anse (Coat, 2009). Des résultats similaires ont été mesurés en Virginie, dans l'estuaire de la rivière James, avec des concentrations de 1300 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour le phytoplancton et 4800 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pour le zooplancton (Nichols, 1990). Ainsi, bien que cette observation n'ait pas été vérifiée dans le cadre de la présente étude, le zooplancton pourrait être considéré comme une voie d'entrée de la chlordécone dans les réseaux trophiques.

Les espèces végétales étudiées présentent des niveaux de contamination très faibles. Ainsi, les compartiments végétaux ne semblent pas être des vecteurs de la molécule dans les réseaux trophiques marins. La seule espèce présentant des concentrations élevées en chlordécone est l'algue brune du genre *Dictyota*. Du fait de molécules répulsives présentes dans ces algues, les *Dictyota* ne sont pas ou très peu utilisées par les consommateurs primaires (Schmitt *et al.*, 1995). Pour cette raison, ces macroalgues, du genre *Dictyota*, ne peuvent pas être considérées comme une voie d'entrée de la chlordécone dans les réseaux trophiques étudiés. Les autres macroalgues ne peuvent également pas être considérées comme des sources de contamination étant donné leurs très faibles concentrations en chlordécone.

En conclusion, la matière en suspension, peut être une source de contamination des réseaux trophique.

III.4.2. Transfert de la molécule entre les niveaux trophiques

Les sources de carbone (MES, zooplancton et matière végétale) sont caractérisées par les concentrations en chlordécone les plus faibles et leurs concentrations apparaissent comme étant similaires entre elles à l'échelle du réseau trophique. À une échelle plus petite, nous avons vu précédemment que la MES et le zooplancton peuvent être plus impliqués dans l'entrée de la chlordécone dans la chaîne alimentaire que la matière végétale, le sédiment ou le biofilm.

Les consommateurs primaires, qui s'alimentent directement des sources de carbone présentes, affichent également des concentrations en chlordécone faibles, du même ordre que celles des sources lorsque l'on considère l'ensemble du réseau trophique. Ainsi, il ne semble pas y avoir de phénomène de bioaccumulation de la molécule entre les sources et le premier niveau trophique de consommateurs. En étudiant ces consommateurs primaires à une échelle plus restreinte, il a été démontré que les invertébrés herbivores apparaissent comme étant les organismes les plus contaminés sur le site de Goyave. Cependant, cette différence s'explique par la nature de tissu analysé (gonades pour les oursins, chair pour les autres espèces). Sur les deux sites, les huîtres de palétuvier *Crassostrea rhizophorae* affichent des concentrations relativement élevées. Il faut prendre en compte ici l'effet de l'habitat sur la contamination des organismes. En effet, les huîtres ont été collectées en mangrove uniquement, où la MES est la plus chargée en chlordécone alors que les autres échantillons de suspensivores ont été récoltés dans les herbiers et les récifs, zones où la MES est moins concentrée en chlordécone.

Une différence statistiquement significative a été trouvée entre le niveau de contamination des consommateurs primaires et de leurs sources de nourriture et celui des consommateurs secondaires (carnivores 1 et 2, zooplanctonophages et piscivores). Cette observation est valable pour la plupart des habitats étudiés. Comme les consommateurs secondaires, les organismes détritivores et omnivores appartiennent aux catégories trophiques les plus contaminées et se différencient de manière significative des sources et des consommateurs primaires. L'introduction de la « carnivorie » et la consommation de détritus (qui sont constitués en partie de restes animaux) semblent induire une amplification de la concentration en chlordécone dans les consommateurs secondaires et les organismes détritivores. L'assimilation de contaminants entre espèces de régime alimentaire différent a déjà été démontrée et expliquée par des différences dans l'efficacité d'assimilation des aliments entre herbivores et carnivores. Alors que les herbivores ont une efficacité d'assimilation de l'ordre de 0,3 celui des carnivores est de 0,8. Or, l'efficacité d'assimilation des aliments serait liée à celle de l'assimilation de contaminants (Connolly et Tonnelli, 1985).

Ainsi, on peut mettre en évidence un phénomène de bioamplification, c'est-à-dire de contamination des organismes par la voie trophique, bien que le facteur de bioamplification soit faible en comparaison avec ceux trouvés pour d'autres polluants historiques comme le DDT ou les PCB. Effectivement dans la présente étude, le facteur de bioamplification moyen entre consommateurs primaires et secondaires varie entre 4 et 9 selon l'habitat, alors qu'il est plus généralement compris entre 100 et 1000 pour les polluants organochlorés (Kelly *et al.*, 2007).

Alors qu'un phénomène de bioamplification peut être mis en évidence entre certains niveaux trophiques de la chaîne alimentaire, d'autres paramètres doivent également influencer le transfert de la molécule de chlordécone. Les variations interspécifiques des concentrations, au sein d'un même groupe trophique, soulignent l'existence d'autres facteurs potentiels d'accumulation, tels que le métabolisme de l'espèce, son statut de résidence (résident permanent ou occasionnel), sa mobilité, sa teneur lipidique...etc.

Un gradient décroissant de la contamination a été mis en évidence entre les organismes prélevés proches de la côte (en mangrove) et ceux du large (prélevés dans les récifs coralliens). Les organismes qui vivent en mangrove sont ainsi plus contaminés que d'autres

animaux, de même groupe trophique, fréquentant les herbiers ou les récifs coralliens. Cette tendance a été observée dans des études précédentes (Bodiguel *et al.*, 2011). Le gradient décroissant de la contamination de la côte vers le large, peut s'expliquer par la dilution des teneurs en chlordécone dans le milieu environnant avec l'éloignement à la source de pollution (embouchures de rivières, résurgences en bordure de littoral...etc.). On peut mettre en évidence ici un phénomène de bioconcentration, soit l'absorption du contaminant à partir du milieu ambiant et son accumulation à une concentration supérieure à celle présente dans l'environnement qui résulte de la contamination des organismes « par bain ».

En conclusion, les organismes marins intègrent la molécule de chlordécone via leur milieu de vie, par un phénomène de bioconcentration par rapport à l'eau, notamment dans les habitats les plus touchés par la contamination tels que les mangroves. La contamination est alors dite « par bain » et pénètre les tissus des animaux via les branchies et (ou) les téguments. Parallèlement, un phénomène de bioamplification peu élevé a été mis en évidence, c'est-à-dire la contamination par voie trophique liée à la consommation de proies contaminées et notamment avec l'introduction de la « carnivorie » dans le régime alimentaire (des consommateurs secondaire et organismes détritivores ou omnivores).

Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus lors de l'étude cartographique de la contamination ont confirmé la stabilité du contour des zones contaminées.

Parmi les espèces à risque, qui sont interdites à la pêche dans les zones de restriction partielle en Guadeloupe, l'oursin blanc, *Tripneustes ventricosus*, pourrait être ajouté du fait du niveau de contamination élevé de ses gonades (c'est-à-dire la partie consommée de l'oursin).

En terme de cartographie de la contamination, l'image globale obtenue à la suite du projet Chlohal et des études précédentes (2008 à 2013) est relativement stable. Toutefois il conviendrait de suivre l'évolution spatio-temporelle de la contamination aux limites des zones d'interdiction, grâce à des espèces sentinelles.

L'étude de la dynamique de la contamination suggère que la voie d'entrée principale de la chlordécone dans les réseaux trophiques marins se fait par bain. Mais, il faut également tenir compte de la matière en suspension qui est également une source potentielle de contamination. Cependant, lors de la présente étude, la MES a été collectée à partir d'eau de mer filtrée sur des filtres de 45 µm. Une analyse plus détaillée de l'eau permettrait de différencier les compartiments qui la composent et d'étudier leur contamination. Cette approche est nécessaire pour identifier plus précisément la localisation de la chlordécone dans la colonne d'eau : dans le phytoplancton, les particules organiques ou sous une forme dissoute. Par ailleurs, les prélèvements ont été réalisés ponctuellement lors des campagnes. Il serait également intéressant de mettre en place un suivi spatio-temporel de la molécule dans le milieu marin, permettant de déterminer la cinétique d'entrée et de quantifier les exportations de chlordécone dans les eaux côtières. La chlordécone dissoute peut être mesurée à l'aide d'échantillonneurs qui seraient relevées régulièrement. Ce type d'expérimentation est particulièrement utile pour comprendre la dynamique d'entrée de la chlordécone dans le milieu marin en fonction, par exemple, des épisodes climatiques et des sites.

L'étude des réseaux trophiques a permis de montrer que la voie principale d'entrée de la molécule de chlordécone dans les réseaux trophiques se fait par bain. La bioamplification de la molécule le long des réseaux trophiques se révèle être modérée. Une attention particulière devrait être accordée au rôle de la matière en suspension qui semble être aussi un vecteur de la contamination. Cependant, cette étude pourrait être approfondie afin de comprendre les importantes variations intra- et interspécifiques des concentrations en chlordécone mesurées. Pour cela, les analyses isotopiques du carbone et de l'azote apporteront des informations cruciales sur la structure des chaînes alimentaires. Les ratios isotopiques du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) sont fréquemment utilisés en écologie pour identifier les sources de carbone. Les ratios isotopiques de l'azote ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) sont utilisés pour identifier les niveaux trophiques, étant donné le fait que ce ratio augmente régulièrement au fur et à mesure de la chaîne alimentaire. Les analyses isotopiques sont ainsi des outils complémentaires aux analyses écotoxicologiques pour tracer les polluants à l'échelle des réseaux trophiques (Kirilux *et al.*, 1995 ; Ikemoto *et al.*, 2008 ; Bodiguel *et al.*, 2011 ; Cresson *et al.*, 2014).

L'étude de la contamination des sources de carbone a mis en évidence des concentrations en chlordécone très élevées pour des espèces d'algues du genre *Dictyota*. Ces macroalgues ne

sont pas consommées par les herbivores du fait des molécules répulsives qu'elles synthétisent (type terpènes). Il serait ici intéressant d'étudier ce cas particulier afin de comprendre si les *Dictyota* possèdent un potentiel bioconcentrateur de la molécule de chlordécone dans le milieu naturel.

Par ailleurs, les variations du niveau de contamination entre les espèces peuvent être dues à des différences d'ordre physiologique. Il est probable que certaines espèces soient plus à même de stocker ou, au contraire, d'éliminer la chlordécone de leur tissus. Ainsi, l'étude de la cinétique de contamination et de décontamination des organismes serait une perspective particulièrement intéressante dans la continuité de la présente étude. Des expérimentations de contamination ont déjà été réalisées en Guadeloupe sur les crustacés de rivière (Gaume *et al.*, 2015) et des poissons d'aquaculture (Lemoine, com. pers.), apportant des informations sur la capacité des organismes aquatiques à intégrer la molécule de chlordécone dans leurs tissus lorsqu'ils baignent dans des eaux même très faiblement contaminées. L'étude de cette cinétique de contamination pourrait être élargie à d'autres espèces marines.

Enfin, aucune étude n'a été menée à ce jour pour évaluer les impacts de la chlordécone sur la physiologie des organismes marins (reproduction, recrutement larvaire, croissance...) et également leurs conséquences sur le fonctionnement général des écosystèmes marins côtiers.

Références bibliographiques

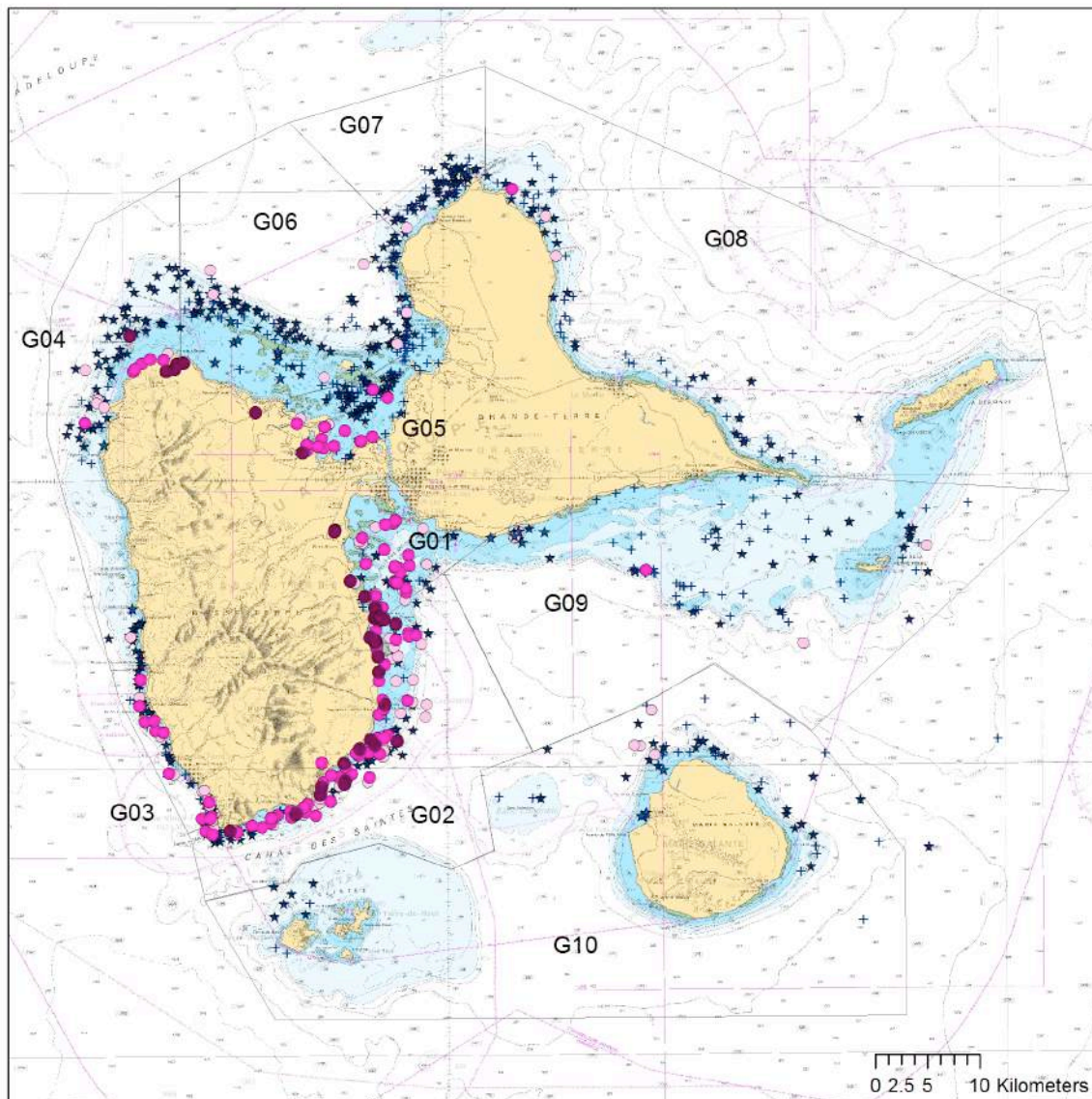
- AFSSA. Saisine n°2009-SA-0184. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'interprétation des résultats de la campagne 2008 de surveillance du chlordécone dans les produits de la pêche. 38 p.
- Anon. (2008). Arrêté du 30 juin 2008 relatif aux limites maximales applicables aux résidus de chlordécone que ne doivent dépasser certaines denrées alimentaires d'origine végétale et animale pour être reconnues propres à la consommation humaine. JORF 4 juillet 2008. NOR : AGRG0816067A. 10 p.
- Anon. (2009). Arrêté préfectoral N°2009-1478 du 23 septembre 2009 suspendant à titre temporaire la pêche et la commercialisation de certaines espèces de poissons issues de certaines zones maritimes de la Guadeloupe. Préfecture, Pointe-à-Pitre.
- Anon. (2010a). Arrêté préfectoral N°2010-721 du 23 juin 2010 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces dans certaines zones maritimes de Guadeloupe. Préfecture, Pointe-à-Pitre.
- Anon. (2010b). Arrêté préfectoral N°2012-335 du 30 novembre 2012 réglementant la pêche et la mise sur le marché des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Martinique en lien avec les bassins versants contaminés par la chlordécone. Préfecture, Fort de France.
- Anon. (2012). Arrêté préfectoral N°2010-3275 du 7 octobre 2010 réglementant la pêche et la mise sur le marché des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Martinique en lien avec les bassins versants contaminés par la chlordécone. Préfecture, Fort de France.
- Anon. (2013). Arrêté préfectoral N°2013-057 du 26 juin 2013 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe. Préfecture, Pointe-à-Pitre.
- Anon. (2014). Arrêté préfectoral N°2014-012 du 28 février 2014 portant modification de l'arrêté N°2013-057 du 26 juin 2013 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe. Préfecture, Pointe-à-Pitre.
- Bertrand J.A., A. Abarnou, G. Bocquené, J.F. Chiffolleau et L. Reynal (2009). Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles françaises. Campagnes 2008 en Martinique et en Guadeloupe. Ifremer, Martinique. 136 p.
- Bertrand J.A., A. Abarnou et L. Reynal (2010a). Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles françaises. Campagne complémentaire 2009 en Guadeloupe. Ifremer, Martinique. 23 p.
- Bertrand J.A., A. Abarnou et L. Reynal (2010b). Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles françaises. Campagne complémentaire 2009 en Martinique. Ifremer. 26 p.
- Bertrand J.A., X. Bodiguel, A. Abarnou, L. Reynal et G. Bocquené (2010c). Chlordecone in the marine environment around the French West Indies: from measurement to pollution managements decisions. ICES, CM 2010/F07. 9 p.
- Bertrand J.A., C. Dromer et L. Reynal (2012). Etude de la contamination de la langouste blanche *Panulirus argus* et de la langouste brésilienne *P. guttatus* par la chlordécone le long de la côte atlantique de la Martinique. Campagnes 2011. Ifremer, Martinique. 37 p.
- Bertrand J.A., O. Guyader et L. Reynal (2013). Caractérisation de la contamination de la faune halieutique par la chlordécone autour de la Guadeloupe. Résultats des campagnes de 2008 à 2011. Ifremer, Martinique. 39 p.
- Bocquené G., F. Akcha, A. Franco, P. Grosjean, S. Coat et E. Godard (2002). Bilan ponctuel de la présence et des effets des pesticides en milieu littoral martiniquais en 2002. Ifremer,

- Martinique. 42 p.
- Bocquené G. et A. Franco (2005). Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Marine Pollution Bulletin*. 51 : 612-619.
- Bodiguel X., J.A. Bertrand et J. Fremery (2011). Devenir de la chlordécone dans les réseaux trophiques des espèces marines consommées aux Antilles (CHLORETRO). Rapport final de la convention Ifremer, ODE Martinique et DSV Martinique. Ifremer, Martinique. 46 p.
- Boucher O., M.N. Simard, G. Muckle, F. Rouget, P. Kadhel, H. Bataille, V. Chajès, R. Dallaire, C. Monfort, J.P. Thomé, L. Multigner et S. Cordier (2013). Exposure to an organochlorine pesticide (chlordecone) and development of 18-month-old infants. *NeuroToxicology* 35: 162-168
- Bouchon C. et S. Lemoine (2003). Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité. Rapport UAG-DIREN, Pointe-à-Pitre. 33 p.
- Bouchon C. et S. Lemoine (2007). Contamination par les pesticides des organismes marins de la baie du Grand Cul-de-Sac Marin (île de la Guadeloupe). Rapport UAG-DIREN, Pointe-à-Pitre. 39 p.
- Bouchon C., S. Lemoine, Y. Bouchon-Navaro, M. Louis et S. Cordonnier (2010). Etude de la contamination des herbiers de Phanérogames marines du Grand Cul-de-Sac Marin de Guadeloupe en vue de la réintroduction du lamantin. Rapport UAG-Parc National de la Guadeloupe, Pointe-à-Pitre. 33 p.
- Bouchon C., S. Lemoine, R.C. Dromard et Y. Bouchon-Navaro (2016). Level of contamination by metallic trace elements and organic molecules in the seagrass beds of Guadeloupe island. *Environmental science and pollution research*. Sous presse.
- Cabidoche Y.M. (2011). Risques de contamination par la chlordécone des baies du Grand et du Petit Cul-de-Sac Marin à la Guadeloupe. Note de cadrage pour le Port Autonome de la Guadeloupe. INRA, Guadeloupe. 7 p.
- Cabidoche Y.M., C. Clermont-Dauphin, A. Lafont, J. Sansoulet, P. Cattan, R. Achard, A. Caron et C. Chabrier (2006). Stockage dans les sols à charges variables et dissipation dans les eaux de zoocides organochlorés autrefois appliqués en bananeraies aux Antilles : relation avec les systèmes de culture. Rapport INRA-CIRAD. 96 p.
- Cabidoche Y.M., R. Achard, P. Cattan, C. Clermont-Dauphin, F. Massat et J. Sansoulet (2009). Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution* 157: 1697–1705
- Cattan P., E. Barriuso, Y.M. Cabidoche, J.B. Charlier et M. Voltz (2008). Quelques éléments clés sur l'origine et le mode de pollution des eaux par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture. Les cahiers du PRAM N°7. Décembre 2007 : 12-19.
- Coat S. (2009). Identification du réseau trophique de rivière et étude de sa contamination par les pesticides organochlorés en Guadeloupe. Thèse de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane, 209 p.
- Coat S., G. Bocquené et E. Godard (2006). Contamination of some aquatic species with the organochlorine pesticide chlordecone in Martinique. *Aquatic Living Resources*. 19: 181-187.
- Connolly J.P. et R. Tonnelli (1985). Modelling Kepone in the striped bass food chain of the James Rivers estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 20: 349-366.
- Cresson P., M.C. Fabri, M. Bouboucha, C. Brach Papa, F. Chavanon, A. Jadaud, J. Knoery, F. Miralles et D. Cossa (2014). Mercury in organisms from the Northwestern Mediterranean slope: importance of food sources. *Science of the Total Environment* 497-498: 229-238
- DGAL (2008). Plan de contrôle 2008 chlordécone dans les denrées animales et d'origine animale en Martinique et en Guadeloupe. DGAL, Paris. DGAL/SDSSA/L2008-274. 20p.

- Dromard R.C. (2014). Niches trophiques des poissons herbivores des Antilles : apports des isotopes stables. Thèse de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane, 254 p.
- Dromard R.C., Y. Bouchon-Navaro, S. Lemoine, S. Cordonnier et C. Bouchon (2014). Evaluation de la capacité du poisson-lion (*Pterois volitans*) à constituer une espèce sentinelle pour le suivi du niveau de contamination par la chlordécone. Rapport UAG-DAAF. 22p.
- Dromard R.C., X. Bodiguel, S. Lemoine, Y. Bouchon-Navaro, L. Reynal, E. Thouard et C. Bouchon (2015). Assessment of the contamination of marine fauna by chlordecone in Guadeloupe and Martinique (Lesser Antilles). *Environmental Science and Pollution Research*. DOI 10.1007/s11356-015-4732-z
- Epstein S.S. (1978). Kepone – Hazard evaluation. *Science of the Total Environment* 9: 1–62
- Gaume B., N. Dodet, J.P. Thomé et S. Lemoine (2015). Expression of biotransformation and oxidative stress genes in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* exposed to chlordecone. *Environmental science and pollution research* 22: 7991-8002
- Kelly B.C., M.G. Ikonomou, J.D. Blair, A.E. Morin et F.A.P.C. Gobas (2007). Food web-specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science* 317: 236-238
- Kermarrec A. (1980) Level of contamination of trophic food chains in Guadeloupe: pesticides and heavy metals 1979-1980. Rapport INRA. 155 p.
- Kirilux R.M., M.R. Servos, D.M. Whittle, G. Cabana et J.B. Rasmussen (1995). Using ratios of stable nitrogen and carbon isotopes to characterize the biomagnification of DDE, Mirex, and PCB in a Lake Ontario pelagic food web. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52: 2660-2674
- Huff J.E., et H.B. Gerstner (1978). Kepone: a literature summary. *Journal of Environmental Pathology and Toxicology* 1: 377–395
- Ikemoto T., N. Phuc Cam Tu, M.X. Watanabe, N. Okuda, K. Omori, S. Tanabe, B. Cach Tuyen et I. Takeuchi (2008). Analysis of biomagnification of persistent organic pollutants in the aquatic food web of the Mekong Delta, South Vietnam using stable carbon and nitrogen isotopes. *Chemosphere* 72: 104-114.
- Luellen D.R., G.G. Vadas et M.A. Unger (2006). Kepone in James River fish: 1976-2002. *Science of the Total Environment*. 358: 286-297.
- Monti D., R.C. Dromard, L. Urvoix et J.P. Thomé (2014). Contamination du plancton côtier par la chlordécone au droit d'embouchures de rivières contaminées (Guadeloupe et Martinique). Poster. 44^{ème} Congrès du Groupe Français des Pesticides. Schoelcher, Martinique.
- Multigner L., J.R. Ndong, A. Giusti, M. Romana, H. Delacroix-Maillard, S. Cordier, B. Jégou, J.P. Thome et P. Blanchet (2010). Chlordecone exposure and risk of prostate cancer. *Journal of Clinical Oncology* 28: 3457-3462
- Nichols M.M. (1990). Sedimentologic fate and cycling of Kepone in an estuarine system: example from the James River estuary. *Science of the Total Environment* 97/98: 407-440.
- Robert S. (2012). Historique de la contamination des sédiments littoraux des Antilles françaises par la chlordécone (Chlosed). Rapport final de convention MAAP-Ifremer. Ifremer, L'Hourmeau. 92 p.
- Rocle N., A. Abarnou, R. Achard, A. Arimone, J.A. Bertrand, G. Bocquéné, A. Catlow, J.C. Dao, F.X. De la Foye, S. Edmond, J. Gresser, P. Marie, A.C. Nivet, K. Pinte & P. Tixier (2009). Gestion agro-environnementale intégrée du risque de contamination de la ressource halieutique par les produits phytopharmaceutiques. Cas du transfert de la chlordécone dans la baie du Robert. Site atelier de la baie du Robert, Martinique, FWI. Cemagref, Martinique. 140 p.
- Schmitt T.M., M.E. Hay et N. Lindquist (1995). Constraints on chemically mediated coevolution: multiple functions for seaweed secondary metabolites. *Ecology* 76: 107-123.

Snegaroff J. (1977). Residues of organochlorine insecticides in soils and rivers in the area of banana plantations in Guadeloupe. *Phytiatrie-Phytopharmacie* 26: 251–258.

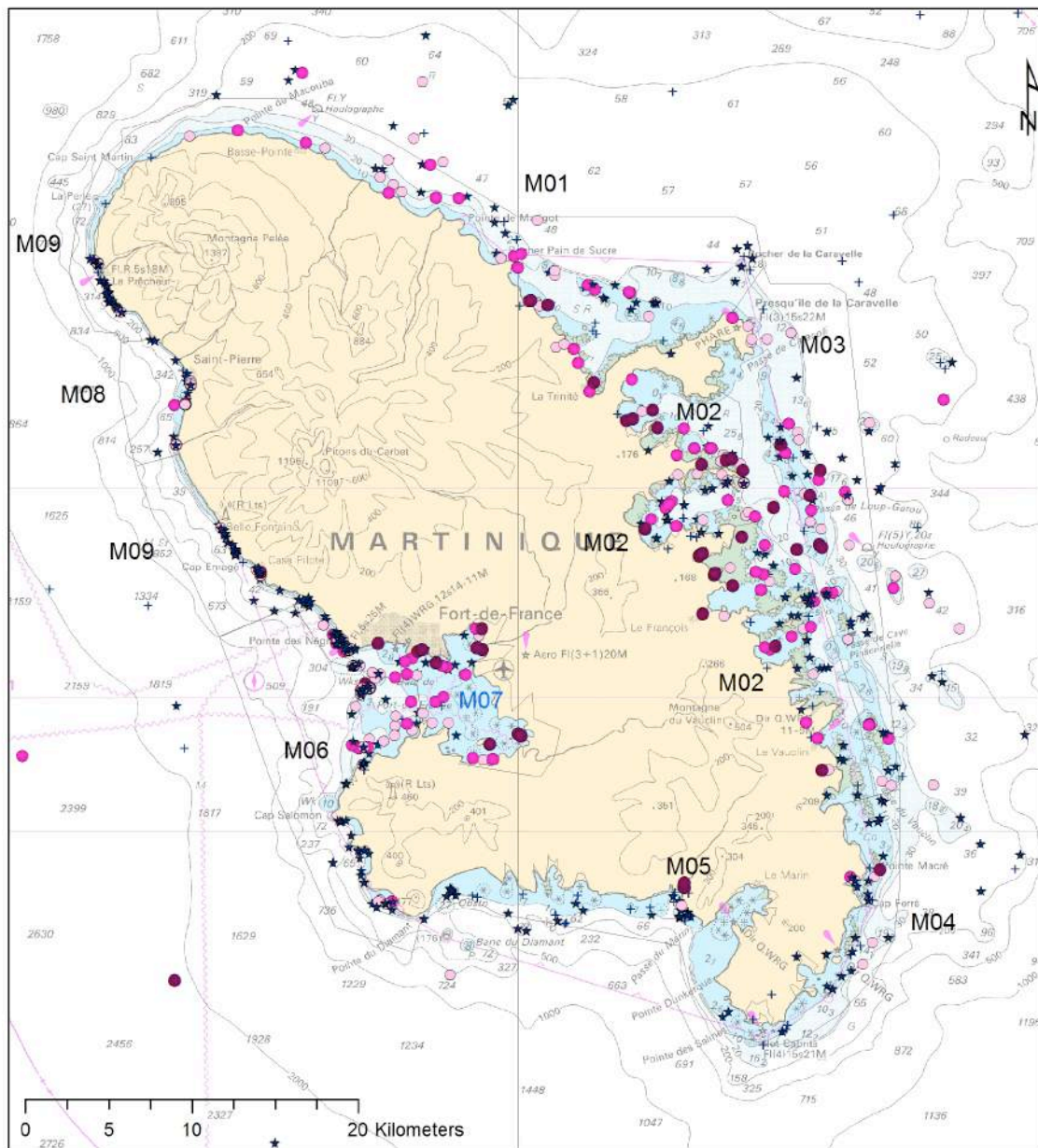
Annexe 1 : localisation des échantillons prélevés en Guadeloupe et concentrations en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1}$)



Sources : Ifremer, DSV, DAAF, UAG, SHOM Projection : WGS1984 UTM 20N



Annexe 2 : localisation des échantillons prélevés en Martinique et concentrations en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1}$)



Sources : SHOM, DAAF, DSV, UAG, Ifremer Projection : WGS1984 UTM 20N

| Concentrations en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ | |
|---|---------------------------|
| + | < seuil de quantification |
| * | seuil quantification - 20 |
| ○ (pink) | 20 - 50 |
| ● (magenta) | 50 - 200 |
| ● (dark red) | > 200 |

Annexe 3 : liste des espèces par groupe trophique et leur noms vernaculaires.

| Groupe taxonomique | Groupe trophique | Espèces | Nom vernaculaire |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Cnidaire | Org. Symbiotique | <i>Zoanthus pulchellus</i> | Zoanthaire lapis |
| Crustacé | Crustacé C1 | <i>Carpilius corallinus</i> | Crabe moro |
| Crustacé | Crustacé C1 | <i>Parribacus antarcticus</i> | Cigale sculptée |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes bocourti</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes danae</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes exasperatus</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes larvatus</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes ornatus</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes sapidus</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Callinectes spp</i> | Crabe cirique |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Farfantepenaeus subtilis</i> | Crevette |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Mysidacea</i> | Crevette |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Panulirus argus</i> | Langouste blanche/royale |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Panulirus guttatus</i> | Langouste brésilienne |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Panulirus sp.</i> | Langoustes |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Penaeus schmitti</i> | Crevette |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Portunus gibbesii</i> | Crabe nageur |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Scyllarides aequinoctialis</i> | Grande cigale |
| Crustacé | Crustacé détritivore | <i>Xiphopenaeus kroyeri</i> | Crevette |
| Crustacé | Crustacé omnivore | <i>Petrochirus diogenes</i> | Bernard l'hermite |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Cardisoma guanhumi</i> | Crabe de terre |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Cardisoma sp.</i> | Crabe de terre |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Mithrax pilosus</i> | Crabe-araignée chevelu |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Mithrax spinosissimus</i> | Crabe-araignée épineux |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Ucides cordatus</i> | Crabe mantou |
| Crustacé | Crustacés herbivore | <i>Ucides sp.</i> | Crabe mantou |
| Echinoderme | Brouteur herbivore | <i>Tripneustes ventricosus</i> | Oursin blanc |
| Echinoderme | Filmivore | <i>Holothuria mexicana</i> | Holothurie mexicainr |
| Echinoderme | Omnivore | <i>Oreaster reticulatus</i> | Etoile de mer commune |
| Mollusque | Brouteur herbivore | <i>Cerithium vulgatum</i> | Cérithe commune |
| Mollusque | Brouteur herbivore | <i>Cittarium pica</i> | Troque |
| Mollusque | Brouteur herbivore | <i>Lithopoma tectum</i> | Astrée imbriquée |
| Mollusque | Filmivore | <i>Strombus costatus</i> | Lambi laiteux |
| Mollusque | Filmivore | <i>Strombus gigas</i> | Lambi |
| Mollusque | Filtreur | <i>Isognomon alatus</i> | Huître plate des palétuvier |
| Mollusque | Filtreur | <i>Pinna carnea</i> | Pinna ambrée |
| Mollusque | Filtreur | <i>Asaphis deflorata</i> | Palourde |
| Mollusque | Filtreur | <i>Crassostrea rhizophorae</i> | Huître des palétuviers |
| Mollusque | Filtreur | <i>Codakia orbicularis</i> | Palourde |
| Mollusque | Mollusque C1 | <i>Octopus spp</i> | Poulpe |
| Mollusque | Mollusque C1 | <i>Octopus vulgaris</i> | Poulpe commun |

Annexe 3 (suite) : liste des espèces par groupe trophique et leur noms vernaculaires.

| Groupe taxonomique | Groupe trophique | Espèces | Noms vernaculaires |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Poisson | Poisson C1 | <i>Acanthostracion polygonius</i> | Poisson coffre |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Balistes vetula</i> | Baliste royal |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Bodianus rufus</i> | Capitaine caye |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Calamus bajonado</i> | Daubenet trembleur |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Calamus pennatula</i> | Daubenet plume |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Cantherhines macrocerus</i> | Bourse cabri |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Chaetodon capistratus</i> | Papillon kat-Zié |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Chloroscombrus chrysurus</i> | Sapater |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Eucinostomus argenteus</i> | Blanche argentée |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Eucinostomus gula</i> | blanche zaile brizé |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Eucinostomus lefroyi</i> | Blanche zié tacté |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Eucinostomus melanopterus</i> | Blance étendard |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Eugerres brasiliensis</i> | Blanche brésilienne |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Gerres cinereus</i> | Blanche cendrée |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon bonariense</i> | Gorette grise |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon carbonarium</i> | Gorette charbonnière |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon chrysargyreum</i> | Gorette tibouche |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon flavolineatum</i> | Gorette jaune |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon parra</i> | Gorette marchande |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon plumieri</i> | Gorette blanche |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon sciurus</i> | Gorette catire |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Haemulon sp.</i> | Gorettes |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Halichoeres bivittatus</i> | Girelle commune |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Halichoeres radiatus</i> | Parroquette |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Holocentridae</i> | Marignans |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Holocentrus adscensionis</i> | Marignan coq |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Holocentrus rufus</i> | Marignan soldat |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Larimus breviceps</i> | Verrue titête |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Mulloidichthys martinicus</i> | Souris blanche |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Myrichthys breviceps</i> | Serpentine dorée |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Ocyurus chrysurus</i> | Colas-Sarde queue jauen |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Polydactylus virginicus</i> | Barbure de flaque |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Pomadasys corvinaeformis</i> | Grondeur gris |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Pseudupeneus maculatus</i> | Barbarin rouge |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Pseudupeneus sp.</i> | Barbarins |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Sphoeroides greeleyi</i> | Tétrodon |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Sphoeroides testudinum</i> | Tétrodon réticulé |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Trachinotus falcatus</i> | Carangue pompaneau |
| Poisson | Poisson C1 | <i>Umbrina coroides</i> | Ombrine pétrole |
| Poisson | Poisson C1-Omnivore | <i>Diapterus rhombeus</i> | Blanche |

Annexe 3 (suite) : liste des espèces par groupe trophique et leur noms vernaculaires.

| Groupe taxonomique | Groupe trophique | Espèces | Noms vernaculaires |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Poisson | Poisson C2 | <i>Alphestes afer</i> | Vieille varech |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Archosargus rhomboidalis</i> | Parapèle |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Bairdiella ronchus</i> | Coco |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Caranx crysos</i> | Carangue coubali |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Caranx hippos</i> | Carangue crevalle |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Centropomus ensiferus</i> | Brochet de mer |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Centropomus pectinatus</i> | Brochet de mer |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Centropomus undecimalis</i> | Brochet de mer |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Cephalopholis cruentata</i> | Ouatalibi |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Cephalopholis fulva</i> | Ouatalibi |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Dasyatis centroura</i> | Pastenague américaine |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Epinephelus guttatus</i> | Mérou couronné |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Epinephelus sp.</i> | Mérous |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Gymnothorax funebris</i> | Murène verte |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Gymnothorax vicinus</i> | Murène gueule mauve |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus analis</i> | Pagre vivaneau |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus apodus</i> | Vivaneau dent de chien |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus griseus</i> | Vivaneau sarde grise |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus jocu</i> | Vivaneau chien |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus mahogoni</i> | Vivaneau mahogani |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus sp.</i> | Vivaneaux |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus synagris</i> | Vivaneau gazou |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Lutjanus vivanus</i> | Vivaneau soie |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Rhomboplites aurorubens</i> | Vivaneau ti yeux |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Rypticus saponaceus</i> | Savonnette commune |
| Poisson | Poisson C2 | <i>Selene vomer</i> | Musso panache |
| Poisson | Poisson détritivore | <i>Mugil cephalus</i> | Mulet grosse tête |
| Poisson | Poisson détritivore | <i>Mugil curema</i> | Mulet blanc |
| Poisson | Poisson détritivore | <i>Mugil liza</i> | Mulet leblanche |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Acanthurus sp.</i> | Chirurgiens |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Acanthurus bahianus</i> | Chirurgien noir |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Acanthurus chirurgus</i> | Chirurgien rayé |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Acanthurus coeruleus</i> | Chirurgien bleu |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Kyphosus sectatrix</i> | Agouti |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Scarus iseri</i> | Perroquet rayé |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Scarus taeniopterus</i> | Perroquet princesse |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Scarus vetula</i> | Perroquet royal |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sicydium</i> | Colle-roche |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma aurofrenatum</i> | Perroquet à bandes rouges |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma chrysopteron</i> | Perroquet queue rouge |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma radians</i> | Perroquet des herbiers |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma rubripinne</i> | Perroquet queue jaune |
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma sp.</i> | Perroquets |

Annexe 3 (suite) : liste des espèces par groupe trophique et leur noms vernaculaires.

| Groupe taxonomique | Groupe trophique | Espèces | Noms vernaculaires |
|--------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Poisson | Poisson herbivore | <i>Sparisoma viride</i> | Perroquet feu tricolore |
| Poisson | Poisson omnivore | <i>Hemiramphus brasiliensis</i> | Balaou queue jaune |
| Poisson | Poisson omnivore | <i>Hyporhamphus unifasciatus</i> | Balaou |
| Poisson | Poisson omnivore | <i>Oreochromis mossambicus</i> | Tilapia |
| Poisson | Poisson omnivore | <i>Stegastes planifrons</i> | Demoiselle trois points |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Acanthocybium solandri</i> | Thazard batard |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Aulostomus maculatus</i> | Poisson trompette |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Carangoides bartholomaei</i> | Carangue grasse |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Caranx latus</i> | Carangue gros yeux |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Caranx ruber</i> | Carangue nomade |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Coryphaena hippurus</i> | Daurade coryphène |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Elagatis bipinnulata</i> | Comète saumon |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Enchelycore nigricans</i> | Murène vipère |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Etelis oculatus</i> | Vivaneau royal |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Euthynnus alletteratus</i> | Thonine commune |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Gymnothorax moringa</i> | Murène noire |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Katsuwonus pelamis</i> | Bonite à ventre rayé |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Lutjanus buccanella</i> | Vivaneau oreille noire |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Makaira nigricans</i> | Marlin bleu |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Megalops atlanticus</i> | Tarpon |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Negaprion brevirostris</i> | Requin citron |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Pterois volitans</i> | Poisson lion |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Scomberomorus cavalla</i> | Thazard barré |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Scomberomorus maculatus</i> | Thazard tacheté |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Scomberomorus regalis</i> | Thazard franc |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Scomberomorus</i> sp. | Thazards |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Seriola rivoliana</i> | Sériole liman |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Sphyræna barracuda</i> | Barracuda |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Sphyræna guachancho</i> | Bécune guachande |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Sphyræna picudilla</i> | Bécune dorée |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Strongylura</i> sp. | Orphies |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Thunnus albacares</i> | Thon à nageoires jaunes |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Thunnus atlanticus</i> | Thon à nageoires noires |
| Poisson | Poisson piscivore | <i>Tylosurus crocodilus</i> | Orphie |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Anchoviella</i> sp. | Anchois |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Anchoa lyolepis</i> | Anchois |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Canthidermis maculatus</i> | Baliste à points blancs |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Decapterus macarellus</i> | Coulirou de canal |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Engraulidae & Atherinidae</i> | Pisquette |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Harengula clupeola</i> | Harengules |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Harengula humeralis</i> | Harengules |

Annexe 3 (suite) : liste des espèces par groupe trophique et leur noms vernaculaires.

| Groupe taxonomique | Groupe trophique | Espèces | Noms vernaculaires |
|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------|
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Harengula</i> spp | Harengules |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Hemiramphus balao</i> <i>Heteropriacanthus</i> | Demi-bec balaou |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>cruentatus</i> | Juif caye |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Myripristis jacobus</i> | Marignan mombin |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Opisthonema oglinum</i> | Hareng |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Priacanthus arenatus</i> | Soleil franc |
| Poisson | Poisson planctonophage | <i>Selar crumenophthalmus</i> | Selar koulirou |

Annexe 4 : Concentrations moyennes en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1} \pm \text{ET}$) mesurées dans les sources de carbone.

| Sites | Goyave | | | Petit Bourg | | |
|----------------------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| Sédiments | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 |
| Biofilm | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 |
| MES et phytoplancton | 60,0 \pm 5,6 | 31,0 \pm 9,9 | 21,0 \pm 0,0 | 191,3 \pm 38,5 | 31,7 \pm 2,9 | 30,3 \pm 2,1 |
| Zooplancton | | | 6,3 \pm 6,0 | | | 20,7 \pm 2,3 |
| Gazon algal | | | 0,0 | | | 4,1 \pm 0,0 |
| Litière de feuille | 2,2 \pm 0,4 | | | | | |
| Macroalgues | | | | | | |
| <i>Acanthophora spicifera</i> | 7,6 \pm 0,6 | | 2,3 \pm 0,4 | 11,3 \pm 0,6 | | |
| <i>Caulerpa sertularoides</i> | | 10,7 \pm 2,0 | | | 16,6 \pm 6,0 | 30,3 \pm 0,6 |
| <i>Dictyota sp</i> | | 165,7 \pm 46,2 | 97,0 \pm 14,4 | | 558,7 \pm 42,4 | 161,7 \pm 16,2 |
| <i>Enteromorpha flexuosa</i> | 9,6 \pm 0,8 | | | | | |
| <i>Galaxaura rugosa</i> | | | 2,1 \pm 0,6 | | | 2,2 \pm 0,3 |
| <i>Halimeda incrassata</i> | | | 1,9 \pm 1,1 | | | 3,2 \pm 0,5 |
| <i>Padina sp</i> | | 1,8 \pm 0,3 | | | 4,5 \pm 0,3 | |
| Magnoliophytes | | | | | | |
| <i>Halophila stipulacea</i> | | 4,1 \pm 0,8 | | 13,3 \pm 9,9 | 4,6 \pm 0,9 | |
| <i>Syringodium filiforme</i> | | 6,9 \pm 0,3 | | | 5,4 \pm 0,8 | |
| <i>Thalassia testudinum</i> | | 2,7 \pm 0,2 | | | 3,0 \pm 0,6 | |
| <i>T. testudinum</i> (épiphytes) | | 3,7 \pm 0,1 | | | | |

Annexe 5 : Concentrations moyennes en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1} \pm \text{ET}$) mesurées dans les consommateurs primaires.

| Sites | Goyave | | | Petit Bourg | | |
|--------------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Stations | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| SUSPENSIVORES | | | | | | |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i> | 74,7 ± 5,5 | | | 122,3 ± 3,8 | | |
| <i>Pinna carnea</i> | | 31,0 | | | 44,0 | |
| <i>Amphimedon compressa</i> | | | 4,1 ± 0,3 | | 10,7 ± 0,6 | 2,5 ± 0,1 |
| <i>Neopetrosia carbonaria</i> | | 8,8 ± 3,3 | | | 14,7 ± 1,5 | |
| <i>Sabellastarte magnifica</i> | | | 0,5 ± 0,1 | | | 2,2 ± 0,1 |
| FILMIVORES | | | | | | |
| <i>Holothuria mexicana</i> | | 4,1 ± 2,1 | 1,0 ± 0,6 | | 3,9 ± 1,1 | 1,9 ± 1,3 |
| <i>Strombus costatus</i> | | | | | 37,3 ± 7,4 | |
| <i>Strombus gigas</i> | | 19,7 ± 3,1 | 20,0 ± 1,7 | | 50,0 ± 2,2 | 8,7 |
| INVERTEBRES HERBIVORES | | | | | | |
| <i>Cerithium vulgatum</i> | | 22,7 ± 4,9 | | | 27,0 ± 1,0 | |
| <i>Lithopoma tectum</i> | | | 21,3 ± 1,5 | | | 13,0 ± 2,0 |
| <i>Lytechinus variegatus</i> | | | | | 66,3 ± 8,1 | |
| <i>Tripneustes ventricosus</i> | | | 54,4 ± 52,3 | | | 64,3 ± 7,6 |
| <i>Mithrax spinosissimus</i> | | | 14,0 | | | |
| POISSONS HERBIVORES | | | | | | |
| <i>Acanthurus bahianus</i> | | | | | 50,5 ± 27,6 | |
| <i>Scarus iseri</i> | | | 16,0 ± 2,6 | | | |
| <i>Scarus taeniopterus</i> | | | 10,3 ± 3,2 | | | 10,7 ± 1,8 |
| <i>Scarus vetula</i> | | | 21,0 | | | |
| <i>Sparisoma radians</i> | 42,0 ± 20,3 | 19,0 ± 3,6 | | | 63,3 ± 37,2 | |
| <i>Sparisoma rubripinne</i> | | | | | | 24,0 |

Annexe 6 : Concentrations moyennes en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1} \pm \text{ET}$) mesurées dans les organismes symbiotiques, omnivores et détritivores.

| Sites | Goyave | | | Petit Bourg | | |
|----------------------------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|---------|--------------|
| Stations | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| ORGANISMES SYMBIOTIQUES | | | | | | |
| <i>Porites astreoides</i> | | | 1,5 ± 0,3 | | | 2,4 ± 0,6 |
| <i>Porites furcata</i> | | 11,3 ± 0,6 | 2,6 ± 0,4 | | | 1,9 ± 0,5 |
| <i>Stichodactyla helianthus</i> | | | 41,7 ± 6,0 | | | 11,5 ± 2,3 |
| POISSONS OMNIVORES | | | | | | |
| <i>Archosargus rhomboidalis</i> | | | | 105,7 ± 50,5 | | |
| <i>Hyporhamphus unifasciatus</i> | 122,0 | | | 123,7 ± 27,2 | | |
| <i>Stegastes planifrons</i> | | | 17,3 ± 8,7 | | | 145,8 ± 47,4 |
| <i>Diapterus rhombeus</i> | 137,0 | | | 136,7 ± 51,4 | | |
| CRUSTACE OMNIVORE | | | | | | |
| <i>Petrochirus diogenes</i> | | 265,0 | | | | |
| CRUSTACES DETRITIVORES | | | | | | |
| <i>Callinectes sp.</i> | 257,0 ± 52,1 | | | 1547,3 ± 1387,8 | | |
| <i>Crevette Esp1</i> | 346,7 ± 73,0 | | | 227,0 | | |
| <i>Crevette Esp2</i> | | | | 189,0 | | |
| <i>Panulirus argus</i> | | 102,0 ± 29,7 | 84,5 ± 9,5 | | | 86,7 ± 18,5 |
| <i>Panulirus guttatus</i> | | | 154,8 ± 21,7 | | | 68,0 ± 2,8 |
| POISSONS DETRITIVORES | | | | | | |
| <i>Mugil curema</i> | 220,0 ± 123,8 | | | | | |

Annexe 7 : Concentrations moyennes en chlordécone (en $\mu\text{g.kg}^{-1} \pm \text{ET}$) mesurées dans les consommateurs secondaires

| Sites | Goyave | | | Petit Bourg | | |
|--|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | Mangrove | Herbier | Récif | Mangrove | Herbier | Récif |
| INVERTEBRES CARNIVORES 1 (Invertébrés C1) | | | | | | |
| <i>Octopus vulgaris</i> | | 35,7 ± 4,5 | | | 39,0 | 20,3 ± 4,5 |
| <i>Oreaster reticulatus</i> | | | | | 253,0 ± 129,9 | |
| POISSONS ZOOPLANCTONOPHAGES | | | | | | |
| <i>Anchoa lyolepis</i> | 209,0 ± 101,9 | | | 323,7 ± 47,5 | | |
| <i>Harengula clupeola</i> | 113,0 ± 72,5 | | | 265,0 ± 137,2 | | |
| <i>Hemiramphus balao</i> | 228,5 ± 228,4 | 170,3 ± 71,7 | | | | |
| <i>Heteropriacanthus cruentatus</i> | | | 44,0 ± 8,5 | | | |
| <i>Myripristis jacobus</i> | | 206,0 | 209,0 | | | 104,3 ± 19,5 |
| POISSONS CARNIVORES 1 (Poissons C1) | | | | | | |
| <i>Chaetodon capistratus</i> | | | | | 196,0 ± 18,4 | |
| <i>Eucinostomus argenteus</i> | | 204,0 | | | 80,7 | |
| <i>Eucinostomus gula</i> | 100,7 ± 14,6 | 119,0 | | 202,3 ± 12,9 | 75,7 ± 30,0 | |
| <i>Eucinostomus lefroyi</i> | | 97,3 ± 14,9 | | | | |
| <i>Eugerres brasiliensis</i> | | | | 861,0 | | |
| <i>Gerres cinereus</i> | 207,0 | | | 182,5 ± 145,0 | 76,0 | |
| <i>Haemulon bonariense</i> | | | 88,0 | | | |
| <i>Haemulon carbonarium</i> | | | 204,3 ± 95,7 | | | 89,5 ± 33,9 |
| <i>Haemulon flavolineatum</i> | | | | | | 66,3 ± 12,3 |
| <i>Haemulon plumieri</i> | | | 97,8 ± 49,4 | | | |
| <i>Halichoeres bivittatus</i> | | 87,5 ± 3,5 | | | | |
| <i>Halichoeres radiatus</i> | | | | | | 188,5 |
| <i>Larimus breviceps</i> | 522,0 | | | | | |
| <i>Mulloidichthys martinicus</i> | 204,0 | | | | | |
| <i>Myrichthys breviceps</i> | 93,0 | | | | | |
| <i>Ocyurus chrysurus</i> | | 145,0 | | | 183,3 ± 28,9 | |
| <i>Polydactylus virginicus</i> | 215,5 ± 23,3 | | | | | |
| <i>Pomadasys corvinaeformis</i> | 524,3 ± 458,9 | | | 121,0 | | |
| <i>Sphoeroides greeleyi</i> | 254,3 ± 196,6 | 233,0 ± 177,7 | | | | |
| <i>Sphoeroides testudinum</i> | 223,3 ± 30,0 | | | 519,0 ± 168,4 | | |
| <i>Trachinotus falcatus</i> | 429,0 | | | 131,3 ± 21,4 | | |

POISSONS CARNIVORES 2 (POISSONS C2)

| | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <i>Bairdiella ronchus</i> | 473,0 ± 450,9 | | | | | |
| <i>Dasyatis centroura</i> | 88,0 | | | | | |
| <i>Gymnothorax funebris</i> | 234,0 | | | | | |
| <i>Gymnothorax vicinus</i> | 70,0 | | | | | |
| <i>Lutjanus apodus</i> | 180,0 | | 101,0 ± 52,5 | | 496,3 ± 28,0 | 160,5 ± 114,9 |
| <i>Lutjanus griseus</i> | | 284,0 | | 153,0 | 210,3 ± 27,4 | |
| <i>Lutjanus mahogani</i> | 275,0 | | | | | |
| <i>Lutjanus synagris</i> | 146,0 | | 130,5 ± 9,2 | | | |
| <i>Rypticus saponaceus</i> | 207,0 | | | 166,0 | | |
| POISSONS PISCIVORES | | | | | | |
| <i>Aulostomus maculatus</i> | | | 89,8 ± 48,9 | | | 83,0 ± 7,8 |
| <i>Carangoides bartholomaei</i> | | | | 173,0 ± 10,4 | | |
| <i>Caranx crysos</i> | | 143,3 ± 34,0 | | 173,0 ± 77,0 | | 81,0 ± 39,6 |
| <i>Caranx latus</i> | 480,0 | | | 180,3 ± 81,3 | | |
| <i>Megalops atlanticus</i> | | | | 1,8 ± 1,0 | | |
| <i>Pterois volitans</i> | | | 77,0 ± 30,1 | | | 74,3 ± 11,7 |
| <i>Sphyraena barracuda</i> | | | 318,0 | 278,0 | 169,0 | 57,0 |
| <i>Sphyraena picudilla</i> | 195,0 | | | | | |

Annexe 7 (suite) : Concentrations moyennes en chlordécone (en µg.kg⁻¹ ± ET), mesurées dans les consommateurs secondaires